

การฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกพืชที่อุณหภูมิต่ำด้วยระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์



สุทธิพงษ์ แก้วปัญญา

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2564

การฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกพืชที่อุณหภูมิต่ำด้วยระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์



สุทธิพงษ์ แก้วปัญญา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

สำนักบริหารและพัฒนาระบบราชการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกพืชที่อุณหภูมิต่ำด้วยระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

สุทธิพงษ์ แก้วปัญญา

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุลักษณ์ มงคล)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรวิชัย พลวงษ์ศรี)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริชญ์ คงกระพันธ์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รจพรธมน นิรัญศิลป์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)

รองอธิการบดี ปฏิบัติการแทน

อธิการบดี มหาวิทยาลัยแม่โจ้

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

| | |
|----------------------|---|
| ชื่อเรื่อง | การฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกพืชที่อุณหภูมิต่ำด้วยระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ |
| ชื่อผู้เขียน | นายสุทธิพงษ์ แก้วปัญญา |
| ชื่อปริญญา | วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน |
| อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุลักษณ์ มงคล |

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและทดสอบการฆ่าเชื้อวัสดุปลูกที่อุณหภูมิต่ำด้วยระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ประกอบด้วย ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบขนาดเท่ากับ 2.4 m^2 ผลิตน้ำร้อนและเก็บไว้ในถังน้ำร้อนขนาดเท่ากับ 150 Liter ที่มีการติดตั้งฮีตเตอร์ขนาด 2.99 kW เพื่อเป็นแหล่งความร้อนเสริม สำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้ออกแบบโดยใช้ท่อทองแดงขนาดเท่ากับ $3/8 \text{ inch}$ วางขนานกันทั้งหมด 12 ท่อ แต่ละท่อมีความยาวเท่ากับ 0.8 m มีระยะห่างระหว่างผิวท่อเท่ากับ 6.3 cm วางในกระเบตทดสอบรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีขนาดกว้าง 35.5 cm ยาว 80 cm และสูง 30 cm ลักษณะการทำงานของระบบที่ออกแบบแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลาได้แก่ ช่วงที่ 1 ทำน้ำร้อนด้วยระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงเวลากลางวัน และช่วงที่ 2 นำน้ำร้อนมาฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกพืช เมื่อพบว่าอุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนไม่ถึง 70°C จะทำการใช้ฮีตเตอร์เป็นแหล่งความร้อนเสริม สำหรับกรณีศึกษาประกอบด้วย การศึกษาสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ การศึกษาอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เหมาะสมโดยทำการปรับอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 1.5 L/min 2 L/min 2.5 L/min และ 3 L/min การศึกษาค่าความชื้นของวัสดุปลูกที่เหมาะสมโดยกำหนดค่าความชื้นในการทดสอบเท่ากับ 15%wb 25%wb 35%wb และ 45%wb และการศึกษาการฆ่าเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ซึ่งเป็นเชื้อจุลินทรีย์ตัวอย่างที่นำมาศึกษาโดยเป็นเชื้อที่เป็นสาเหตุก่อให้เกิดโรคร้ายในพืช โดยใช้เงื่อนไขอัตราการไหลของน้ำร้อนร่วมกับค่าความชื้นวัสดุปลูกที่ดีที่สุด

จากการการศึกษาพบว่า สมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบมีค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ เท่ากับ 0.5645 และมีค่า F_{RUL} เท่ากับ $5.4121 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ และเมื่อประเมินศักยภาพในการผลิตน้ำร้อนพบว่า อุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนที่ได้จากการทดลองจริงกับอุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนที่ได้จากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเท่ากับ 4.69% สำหรับการศึกษาอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสมพบว่า อัตราการไหลของน้ำร้อนเท่ากับ 1.5 L/min ทำให้อุณหภูมิของวัสดุปลูกสูงสุดเท่ากับ 51.34°C และสามารถอบฆ่า

เชื้อได้นานที่สุดเท่ากับ 4 hr 39 min จากนั้นนำอัตราการไหลในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 1.5 L/min ไปใช้เป็นเงื่อนไขในการทดสอบวัสดุปลูกที่ความชื้นต่างๆ พบว่า ค่าความชื้นของวัสดุปลูกเท่ากับ 45%wb สามารถถ่ายเทความร้อนจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไปยังวัสดุปลูกได้มากที่สุด และสามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ทั้งระบบได้เป็นเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 5 hr 10 min โดยที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากับ $56.44 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ และประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบฆ่าเชื้อวัสดุปลูกมีค่าเท่ากับ 13.57% สำหรับการทดสอบการฆ่าเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในวัสดุปลูกพืชพบว่า ระบบฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกพืชด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนร่วมกับระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ไม่สามารถที่จะทำการกำจัดเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ได้หมดแต่พบว่าสามารถลดจำนวนของเชื้อให้ลดลงได้มากที่สุดจากจำนวนเชื้อเท่ากับ 7.83×10^5 colony forming unit/g soil ลดลงเท่ากับ 2×10^5 colony forming unit/g soil หรือลดลงได้มากที่สุด 74.47%

คำสำคัญ : ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์, ตัวเก็บรังสีอาทิตย์, อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน, การฆ่าเชื้อ, วัสดุปลูก

| | |
|---------------------------------------|--|
| Title | SUBSTRATE CULTURE STERILIZATION BY LOW TEMPERATURE FROM SOLAR HOT WATER HEATING SYSTEM |
| Author | Mr. Suttipong Keawpanya |
| Degree | Master of Engineering in Renewable Energy Engineering |
| Advisory Committee Chairperson | Assistant Professor Dr. Sulaksana Mongkon |

ABSTRACT

This research aims to design and test the substrate culture sterilization by low temperature hot water of solar water heating system which consisted of the flat plate solar collector of 2.4 m² area produces hot water and was stored in a 150 Liter of hot water storage tank equipped with a 2.99 kW heater as an additional heat source. The heat exchanger was designed with 12 parallel 3/8 inch copper tubes, each tube had 0.8 m of length and 6.3 cm spacing between tubes, placed in a rectangular sterilization bed which was 35.5 cm of width, 80 cm of length, and 30 cm of height. The operation of the system was divided into two periods; the first period, the hot water was produced during the daytime by a solar water heating system, and the second period, using the hot water to disinfect the substrate culture. When the temperature in the hot water storage tank does not reach 70°C, a heater is used as an additional heat source. The case study consists of a study of the performance of a flat plate solar collector, the suitable hot water flow rate was studied by adjusting the hot water flow rate in the heat exchanger at 1.5 L/min, 2 L/min, 2.5 L/min and 3 L/min. The suitable moisture content of substrate culture was determined of 15%wb, 25%wb, 35%wb and 45%wb. And the disinfection study of *Ralstonia solanacearum*, a sample of microorganisms studied as a causative agent of wilt in plants, was carried out using the suitable hot water flow rate and moisture content conditions.

From the study, the performance of the flat plate solar collector showed that $F_R(\tau\alpha)_e$ was 0.5645 and $F_R U_L$ was 5.4121 W/m².°C. When evaluating the hot

water production potential, it was found that the hot water temperature from the actual experiment compared with the hot water temperature from the calculation was similar with an error of 4.69%. For determining the hot water flow rate in heat exchangers, it was found that the suitable value was 1.5 L/min that the maximum temperature of the substrate culture was reached 51.34°C and the maximum sterilization time was equal to 4 hr 39 min. Then used 1.5 L/min as a condition for various moisture content testing. The result showed the suitable moisture content of substrate culture was 45%wb which was able to transfer more heat from the heat exchanger to the substrate culture. In addition, it was able to maintain the substrate culture temperature higher than or equal to 45°C for an average time of 5 hr 10 min, with the average total heat transfer coefficient of the heat exchanger was 56.44 W/m²·°C and the heat transfer efficiency of sterilization system was 13.57%. For the sterilization test of *Ralstonia solanacearum* in substrate culture, it was found that the substrate culture sterilization by low temperature hot water of solar water heating system was unable to completely eliminate *Ralstonia solanacearum*, however, the number of *Ralstonia solanacearum* was able to reduce as much as possible from 7.83x10⁵ colony forming unit/g soil to remain by 2x10⁵ colony forming unit/g soil, or decreased by the maximum of 74.47%.

Keywords : Solar hot water heating system, Solar collector, Heat exchanger, Sterilization, Substrate culture

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุลักษณ์ มงคล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์และการนำเสนอผลงานทางวิชาการ ตลอดจนการตรวจแก้ไขเล่มวิทยานิพนธ์จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรารุช พลวงษ์ศรี และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริญ คงกระพันธ์ ซึ่งให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ และขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.ฉัตรสุดา เผือกใจแก้ว สาขาอาชีวศึกษา คณะผลิตกรรมการเกษตร ที่เอื้อเพื่อสนับสนุนห้องปฏิบัติการด้านโรคพืชวิทยา สำหรับงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษา “โครงการผลิต และพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา” ประจำปีการศึกษา 2559

ท้ายสุดนี้ ขอขอบคุณครอบครัว และมีตรสหายอันเป็นที่รักยิ่ง ที่คอยให้ความช่วยเหลือสนับสนุน ให้คำแนะนำ และให้เป็นกำลังใจเสมอมาจนทำให้สำเร็จการศึกษาไปได้ด้วยดี

สุทธิพงษ์ แก้วปัญญา

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ค |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ช |
| สารบัญ..... | ซ |
| สารบัญตาราง..... | ฐ |
| สารบัญภาพ..... | ฒ |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1. ที่มาและความสำคัญ..... | 1 |
| 2. วัตถุประสงค์..... | 3 |
| 3. ขอบเขตการศึกษา..... | 3 |
| 4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 4 |
| บทที่ 2 ทฤษฎี และการตรวจเอกสาร..... | 5 |
| 1. การปลูกพืชในวัสดุปลูก..... | 5 |
| 1.1 วัสดุปลูกที่เป็นอินทรีย์สาร..... | 7 |
| 1.2 วัสดุปลูกที่เป็นอนินทรีย์สาร..... | 8 |
| 1.3 หลักเกณฑ์พิจารณาการเลือกใช้วัสดุปลูก..... | 8 |
| 1.4 ข้อดี และข้อเสียของการปลูกพืชในวัสดุปลูก..... | 9 |
| 2. การฆ่าเชื้อในดิน และวัสดุปลูก..... | 11 |
| 2.1 การฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกด้วยไอน้ำ..... | 11 |
| 2.2 การฆ่าเชื้อในดิน และวัสดุปลูกด้วยสารเคมี..... | 11 |
| 2.3 การฆ่าเชื้อในดินด้วยพลังงานแสงอาทิตย์..... | 12 |

| | |
|---|----|
| 2.4 เชื้อ <i>Ralstonia solanacearum</i> | 13 |
| 3. ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ | 14 |
| 3.1 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์..... | 15 |
| 3.2 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ | 16 |
| 3.3 การส่งผ่าน และดูดกลืนรังสีของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ | 18 |
| 3.4 สมดุลพลังงานตัวเก็บรังสีอาทิตย์ | 18 |
| 3.5 ค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ | 21 |
| 3.6 ระดับค่ารังสีอาทิตย์วิกฤติ..... | 22 |
| 3.7 สมดุลพลังงานถึงเก็บน้ำร้อน..... | 22 |
| 4. การถ่ายเทความร้อน | 23 |
| 4.1 การนำความร้อน..... | 23 |
| 4.2 การพาความร้อนแบบบังคับสำหรับการไหลภายในท่อกรณีอุณหภูมิต่อมีค่าคงที่ | 25 |
| 4.2.1 เลขเรย์โนลด์..... | 26 |
| 4.2.2. เลขนัสเซิลท์ของการไหลปั่นป่วนในท่อ | 27 |
| 4.3 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน..... | 28 |
| 4.3.1 การถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน | 28 |
| 4.3.2 อัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน | 28 |
| 4.3.3 ประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน | 29 |
| 5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 30 |
| บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย..... | 38 |
| 1. ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ | 39 |
| 1.1 ลักษณะจำเพาะของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์..... | 39 |
| 1.1.1 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์..... | 39 |
| 1.1.2 ถังเก็บน้ำร้อน | 39 |

| | |
|---|----|
| 1.1.3 ฮีตเตอร์..... | 40 |
| 1.1.4 ป้อนน้ำ..... | 40 |
| 1.1.5 หม้อแปลงไฟฟ้า..... | 41 |
| 1.1.6 โมดูลควบคุมความเร็วมอเตอร์..... | 42 |
| 1.1.7 Thermocouple Type K..... | 42 |
| 1.1.8 ท่อน้ำร้อน PPR..... | 43 |
| 1.2 การทดสอบสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์..... | 43 |
| 2. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนร่วมกับระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์..... | 45 |
| 2.1 การออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน..... | 45 |
| 2.2 การสร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน..... | 47 |
| 2.3 ระบบฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกที่ใช้น้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์..... | 49 |
| 3. กรณีศึกษา และการออกแบบการทดลอง..... | 50 |
| 3.1 การศึกษาอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกใน อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน..... | 50 |
| 3.2 การศึกษาค่าความชื้นในวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกใน อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน..... | 54 |
| 3.3 การศึกษาการฆ่าเชื้อ <i>Ralstonia solanacearum</i> ในวัสดุปลูกพืช..... | 58 |
| 4. เครื่องมือวัด และบันทึกข้อมูล..... | 64 |
| บทที่ 4 ผล และวิจารณ์ผลการทดลอง..... | 67 |
| 1. ผลการศึกษาสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ..... | 67 |
| 2. ผลการศึกษาอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกใน อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน..... | 69 |
| 2.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพ และคุณสมบัติทางความร้อนเริ่มต้นของวัสดุปลูกที่ นำมาทดสอบ..... | 69 |

| | |
|--|-----|
| 2.2 ผลการทดสอบการหาอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ วัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน | 71 |
| 2.2.1 ผลการทดสอบอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 1.5 L/min..... | 72 |
| 2.2.2 ผลการทดสอบอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 2 L/min..... | 76 |
| 2.2.3 ผลการทดสอบอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 2.5 L/min..... | 81 |
| 2.2.4 ผลการทดสอบอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 3 L/min..... | 85 |
| 2.2.5 การวิเคราะห์ผลการทดสอบการหาอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เหมาะสมต่อการ เพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน | 90 |
| 3. ผลการศึกษาค่าความชื้นในวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกในอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน | 95 |
| 3.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพ และคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุปลูกในแต่ละ ระดับค่าความชื้น | 96 |
| 3.2. ผลการทดสอบการหาค่าความชื้นในวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุ ปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน | 98 |
| 3.2.1 ผลการทดสอบการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในวัสดุ ปลูกที่มีค่าความชื้นเท่ากับ 15%wb | 98 |
| 3.2.2 ผลการทดสอบการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในวัสดุ ปลูกที่มีค่าความชื้นเท่ากับ 25%wb | 102 |
| 3.2.3 ผลการทดสอบการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในวัสดุ ปลูกที่มีค่าความชื้นเท่ากับ 35%wb | 106 |
| 3.2.4 ผลการทดสอบการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในวัสดุ ปลูกที่มีค่าความชื้นเท่ากับ 45%wb | 110 |

| | |
|---|-----|
| 3.2.5 การวิเคราะห์ผลการทดสอบการหาค่าความชื้นในวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการ เพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน | 114 |
| 4. ผลการศึกษาการฆ่าเชื้อ <i>Ralstonia solanacearum</i> ในวัสดุปลูกพืช | 120 |
| 4.1 ผลการทดสอบการฆ่าเชื้อ <i>Ralstonia solanacearum</i> (ครั้งที่ 1) | 120 |
| 4.2 ผลการทดสอบการฆ่าเชื้อ <i>Ralstonia solanacearum</i> (ครั้งที่ 2) | 126 |
| 4.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบการฆ่าเชื้อ <i>Ralstonia solanacearum</i> | 132 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ..... | 133 |
| บรรณานุกรม..... | 135 |
| ภาคผนวก..... | 138 |
| ภาคผนวก ก. ตัวอย่างการคำนวณ..... | 139 |
| ภาคผนวก ข. เผยแพร่ผลงานวิจัย..... | 147 |
| ประวัติผู้วิจัย..... | 178 |



สารบัญตาราง

| | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 1 ความแตกต่างระหว่างการปลูกพืชในดิน และการปลูกพืชในวัสดุปลูก | 6 |
| ตารางที่ 2 ปริมาณเชื้อ <i>Ralstonia solanacearum</i> ที่บริเวณทดสอบ ณ เวลาต่างๆ..... | 32 |
| ตารางที่ 3 อุณหภูมิของดินที่ไม่มีการคลุมดิน และดินที่ทำการคลุมดินด้วยพลาสติกในระดับความลึกเท่ากับ 10 cm และ 20 cm ตามลำดับ | 36 |
| ตารางที่ 4 จำนวนเชื้อ <i>Ralstonia solanacearum</i> ที่ลดลงเมื่อให้ความร้อนแก่ดินที่อุณหภูมิคงที่เท่ากับ 45°C เป็นเวลา 2 วัน และอุณหภูมิคงที่ 60°C เป็นเวลา 2 hr..... | 37 |
| ตารางที่ 5 เครื่องมือวัด และบันทึกข้อมูล | 64 |
| ตารางที่ 6 ข้อมูลการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ศึกษาในงานวิจัย | 67 |
| ตารางที่ 7 อุณหภูมิฝั่ง Hot plate ของวัสดุปลูกที่ใช้ในการทดสอบ | 70 |
| ตารางที่ 8 อุณหภูมิฝั่ง Ambient ของวัสดุปลูกที่ใช้ในการทดสอบ..... | 70 |
| ตารางที่ 9 ผลการทดสอบค่าการนำความร้อนของวัสดุปลูกที่นำมาทดสอบ..... | 71 |
| ตารางที่ 10 ระยะเวลาที่สามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ที่อัตราการไหลต่างๆ ที่ระดับความลึกเท่ากับ 6.8 cm (ชั้นที่ 1)..... | 90 |
| ตารางที่ 11 ระยะเวลาที่สามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ที่อัตราการไหลต่างๆ ที่ระดับความลึกเท่ากับ 13.6 cm (ชั้นที่ 2) | 91 |
| ตารางที่ 12 ระยะเวลาที่สามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ที่อัตราการไหลต่างๆ ที่ระดับความลึกเท่ากับ 20.4 cm (ชั้นที่ 3) | 91 |
| ตารางที่ 13 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไปยังวัสดุปลูกที่อัตราการไหลต่างๆ | 92 |
| ตารางที่ 14 อัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่อัตราการไหลต่างๆ..... | 94 |
| ตารางที่ 15 ปริมาณความร้อนจากแหล่งความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่อัตราการไหลต่างๆ | 94 |
| ตารางที่ 16 ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบฆ่าเชื้อวัสดุปลูกที่อัตราการไหลต่างๆ..... | 94 |

| | |
|---|-----|
| ตารางที่ 17 อุณหภูมิฝั่ง Hot plate ของวัสดุปลูกในแต่ละระดับค่าความชื้น | 96 |
| ตารางที่ 18 อุณหภูมิฝั่ง Ambient ของวัสดุปลูกในแต่ละระดับค่าความชื้น | 96 |
| ตารางที่ 19 ผลการทดสอบค่าการนำความร้อนของวัสดุปลูกในแต่ละระดับค่าความชื้น | 97 |
| ตารางที่ 20 ระยะเวลาที่สามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ที่ระดับความชื้นต่างๆ ที่ระดับความลึกเท่ากับ 6.8 cm (ชั้นที่ 1) | 115 |
| ตารางที่ 21 ระยะเวลาที่สามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ที่ระดับความชื้นต่างๆ ที่ระดับความลึกเท่ากับ 13.6 cm (ชั้นที่ 2) | 115 |
| ตารางที่ 22 ระยะเวลาที่สามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ที่ระดับความชื้นต่างๆ ที่ระดับความลึกเท่ากับ 20.4 cm (ชั้นที่ 3) | 116 |
| ตารางที่ 23 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไปยังวัสดุปลูกในระดับค่าความชื้นต่างๆ | 117 |
| ตารางที่ 24 อัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในวัสดุปลูกระดับความชื้นต่างๆ | 118 |
| ตารางที่ 25 ปริมาณความร้อนจากแหล่งความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในวัสดุปลูกระดับความชื้นต่างๆ | 118 |
| ตารางที่ 26 ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกในระดับความชื้นต่างๆ | 119 |
| ตารางที่ 27 ปริมาณเชื้อ <i>Ralstonia solanacearum</i> ในวัสดุปลูกก่อนการทดสอบการฆ่าเชื้อ (ครั้งที่ 1) | 122 |
| ตารางที่ 28 ปริมาณเชื้อ <i>Ralstonia solanacearum</i> ในวัสดุปลูก หลังการทดสอบการฆ่าเชื้อ (ครั้งที่ 1) | 126 |
| ตารางที่ 29 ปริมาณเชื้อ <i>Ralstonia solanacearum</i> ในวัสดุปลูกก่อนการทดสอบการฆ่าเชื้อ (ครั้งที่ 2) | 128 |
| ตารางที่ 30 ปริมาณเชื้อ <i>Ralstonia solanacearum</i> ในวัสดุปลูก หลังการทดสอบการฆ่าเชื้อ (ครั้งที่ 2) | 132 |

สารบัญภาพ

| | หน้า |
|--|------|
| ภาพที่ 1 ระบบการปลูกพืชในวัสดุปลูกและให้สารละลายธาตุอาหารด้วยระบบน้ำหยด..... | 6 |
| ภาพที่ 2 วัสดุปลูกที่เป็นอินทรีย์สาร | 7 |
| ภาพที่ 3 วัสดุปลูกที่เป็นอนินทรีย์สาร..... | 8 |
| ภาพที่ 4 การคลุมดินด้วยพลาสติกโพลีเอทิลีน | 12 |
| ภาพที่ 5 ลักษณะอาการเหี่ยวของต้นพืชที่ติดเชื้อ <i>Ralstonia solanacearum</i> | 13 |
| ภาพที่ 6 ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอน | 14 |
| ภาพที่ 7 ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ปั้มน้ำร้อนในการหมุนเวียนน้ำในระบบ..... | 15 |
| ภาพที่ 8 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ | 17 |
| ภาพที่ 9 การประยุกต์ใช้ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ | 17 |
| ภาพที่ 10 การส่งผ่าน และดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ | 18 |
| ภาพที่ 11 สมดุลพลังงานตัวเก็บรังสีอาทิตย์ | 19 |
| ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่าง η_{coll} และ $(T_{fi} - T_a)/I_T$ | 22 |
| ภาพที่ 13 การนำความร้อนผ่านวัตถุที่มีความหนา Δx และพื้นที่ A | 24 |
| ภาพที่ 14 การถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน | 28 |
| ภาพที่ 15 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของการให้ความร้อนแก่ดินด้วยวิธีต่างๆ..... | 31 |
| ภาพที่ 16 การติดตั้งท่อทองแดงบริเวณด้านหลังของตัวรับรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลา..... | 32 |
| ภาพที่ 17 อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 25 cm..... | 33 |
| ภาพที่ 18 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของดินที่ได้จากการวัดที่ความลึก 0.3 m ของบริเวณที่คลุมดิน และไม่คลุมดินที่เวลา 8:00-17:00 น. | 34 |
| ภาพที่ 19 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย | 38 |
| ภาพที่ 20 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ในการศึกษา | 39 |

| | |
|---|----|
| ภาพที่ 21 ถังเก็บน้ำร้อน | 40 |
| ภาพที่ 22 ฮีตเตอร์ | 40 |
| ภาพที่ 23 ป้อนน้ำ | 41 |
| ภาพที่ 24 หม้อแปลงไฟฟ้า..... | 41 |
| ภาพที่ 25 โมดูลควบคุมความเร็วมอเตอร์..... | 42 |
| ภาพที่ 26 สายเทอร์โมคัปเปิล Type K..... | 42 |
| ภาพที่ 27 ท่อน้ำร้อน PPR | 43 |
| ภาพที่ 28 การทดสอบสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ | 45 |
| ภาพที่ 29 ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับการฆ่าเชื้อในวัสดุปลูก..... | 47 |
| ภาพที่ 30 หุ้มฉนวนบริเวณอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน | 47 |
| ภาพที่ 31 ตำแหน่งจุดติดตั้งสาย Thermocouple type K เพื่อทำการบันทึกอุณหภูมิของวัสดุปลูก ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน..... | 48 |
| ภาพที่ 32 ระบบฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกที่ใช้น้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ | 49 |
| ภาพที่ 33 ชุดทดสอบการหาค่าการนำความร้อนของวัสดุปลูกตามมาตรฐาน ASTM C177..... | 51 |
| ภาพที่ 34 จุดวัดอุณหภูมิวัสดุปลูกด้าน Hot plate และด้าน Ambient ในชุดทดสอบการหาค่าการ นำความร้อนของวัสดุปลูก | 52 |
| ภาพที่ 35 วัสดุปลูกตัวอย่างที่ถูกบรรจุลงในกระบอกทดสอบซึ่งเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน | 54 |
| ภาพที่ 36 การปรับสภาพความชื้นในวัสดุปลูก | 55 |
| ภาพที่ 37 การตรวจวัดค่าความชื้นวัสดุปลูกที่ใช้ใช้อุปกรณ์ Soil moisture meter | 57 |
| ภาพที่ 38 การเตรียมวัสดุปลูกที่มีเชื้อ <i>Ralstonia solanacearum</i> | 61 |
| ภาพที่ 39 การเก็บตัวอย่างของวัสดุปลูกเพื่อทำการส่งตรวจหาปริมาณเชื้อ <i>Ralstonia solanacearum</i> ในวัสดุปลูกก่อนที่จะทำการทดสอบการฆ่าเชื้อ | 62 |
| ภาพที่ 40 การเก็บตัวอย่างของวัสดุปลูกเพื่อทำการส่งตรวจหาปริมาณเชื้อ <i>Ralstonia solanacearum</i> ในวัสดุปลูกหลังการทดสอบการฆ่าเชื้อ | 63 |
| ภาพที่ 41 ความสัมพันธ์ระหว่าง η_{coll} และ $(T_{fi} - T_a)/I_T$ | 68 |

| | |
|---|-----|
| ภาพที่ 42 อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนที่ได้จากการทดลอง และอุณหภูมิน้ำร้อนที่ได้จากการคำนวณในแต่ละช่วงเวลา..... | 69 |
| ภาพที่ 43 ผลการทดสอบระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 1.5 L/min | 73 |
| ภาพที่ 44 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกระบอกฆ่าเชื้อวัสดุปลูก กรณีอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 1.5 L/min | 75 |
| ภาพที่ 45 ผลการทดสอบระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 2 L/min | 77 |
| ภาพที่ 46 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกระบอกฆ่าเชื้อวัสดุปลูก กรณีอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 2 L/min | 80 |
| ภาพที่ 47 ผลการทดสอบระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 2.5 L/min | 82 |
| ภาพที่ 48 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกระบอกฆ่าเชื้อวัสดุปลูก กรณีอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 2.5 L/min | 85 |
| ภาพที่ 49 ผลการทดสอบระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 3 L/min | 86 |
| ภาพที่ 50 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกระบอกฆ่าเชื้อวัสดุปลูก กรณีอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 3 L/min | 89 |
| ภาพที่ 51 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน..... | 93 |
| ภาพที่ 52 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบฆ่าเชื้อวัสดุปลูก..... | 95 |
| ภาพที่ 53 ผลของการทดสอบระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ในวันที่ทำการทดสอบกับวัสดุปลูกที่มีค่าความชื้นเท่ากับ 15%wb | 99 |
| ภาพที่ 54 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกระบอกฆ่าเชื้อวัสดุปลูก กรณีค่าความชื้นของวัสดุปลูกเท่ากับ 15%wb | 102 |

| | |
|--|-----|
| ภาพที่ 55 ผลการทดสอบระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ในวันที่ทำการทดสอบกับวัสดุปลูกที่มีค่าความชื้นเท่ากับ 25%wb..... | 103 |
| ภาพที่ 56 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกระบะฆ่าเชื้อวัสดุปลูก กรณีค่าความชื้นของวัสดุปลูกเท่ากับ 25%wb | 106 |
| ภาพที่ 57 ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ในวันที่ทำการทดสอบกับวัสดุปลูกที่มีค่าความชื้นเท่ากับ 35%wb | 107 |
| ภาพที่ 58 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกระบะฆ่าเชื้อวัสดุปลูก กรณีค่าความชื้นของวัสดุปลูกเท่ากับ 35%wb | 110 |
| ภาพที่ 59 ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ในวันที่ทำการทดสอบการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในวัสดุปลูกที่มีค่าความชื้นเท่ากับ 45%wb | 111 |
| ภาพที่ 60 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกระบะฆ่าเชื้อวัสดุปลูก กรณีค่าความชื้นของวัสดุปลูกเท่ากับ 45%wb | 113 |
| ภาพที่ 61 ความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุปลูกที่ระดับค่าความชื้นต่างๆ และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเฉลี่ยของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน..... | 117 |
| ภาพที่ 62 ความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุปลูกที่ระดับค่าความชื้นต่างๆ และประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบฆ่าเชื้อวัสดุปลูก..... | 119 |
| ภาพที่ 63 ผลการทดสอบระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ในวันที่ทำการทดสอบการฆ่าเชื้อ <i>Ralstonia solanacearum</i> ในวัสดุปลูกพีช (ครั้งที่ 1)..... | 121 |
| ภาพที่ 64 ภาพถ่ายลักษณะเชื้อ <i>Ralstonia solanacearum</i> จากวัสดุปลูกจำนวน 3 ตัวอย่าง ก่อนการทดสอบการฆ่าเชื้อ (ครั้งที่ 1)..... | 121 |
| ภาพที่ 65 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในวันที่ทำการทดสอบการฆ่าเชื้อ <i>Ralstonia solanacearum</i> ในวัสดุปลูกพีช (ครั้งที่ 1)..... | 124 |
| ภาพที่ 66 ภาพถ่ายลักษณะเชื้อ <i>Ralstonia solanacearum</i> จากวัสดุปลูกจำนวน 12 ตัวอย่าง หลังการทดสอบการฆ่าเชื้อ (ครั้งที่ 1)..... | 125 |
| ภาพที่ 67 ผลการทดสอบระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ในวันที่ทำการทดสอบการฆ่าเชื้อ <i>Ralstonia solanacearum</i> ในวัสดุปลูกพีช (ครั้งที่ 2)..... | 127 |

ภาพที่ 68 ภาพถ่ายลักษณะเชื้อ *Ralstonia solanacearum* จากวัสดุปลูกจำนวน 3 ตัวอย่าง ก่อน
การทดสอบการฆ่าเชื้อ (ครั้งที่ 2)..... 128

ภาพที่ 69 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในวันที่ทำการทดสอบการฆ่าเชื้อ *Ralstonia solanacearum*
ในวัสดุปลูกพืช (ครั้งที่ 2)..... 130

ภาพที่ 70 ภาพถ่ายลักษณะเชื้อ *Ralstonia solanacearum* จากวัสดุปลูกจำนวน 12 ตัวอย่าง หลัง
การทดสอบการฆ่าเชื้อ (ครั้งที่ 2)..... 131



บทที่ 1

บทนำ

1. ที่มาและความสำคัญ

การที่พืชจะสามารถเจริญเติบโตได้ตามธรรมชาตินั้นต้องอาศัยปัจจัยแวดล้อมต่างๆ ที่เหมาะสมนั่นก็คือ แสง น้ำ อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ทั้งในส่วนของรากและในส่วนที่อยู่เหนือดิน สำหรับการเพาะปลูกพืชบนดินนั้นมักจะประสบปัญหาในเรื่องของสมบัติของดินที่ไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก เช่น ดินมีปริมาณแร่ธาตุอาหารที่ต่ำและไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช ดินมีความเป็นกรด-ด่าง ดินมีการสะสมของเชื้อโรคและแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุก่อให้เกิดโรคในพืช ซึ่งสร้างความเสียหายต่อพืชผลทางการเกษตร ส่งผลให้มีผลผลิตที่ไม่สม่ำเสมอทั้งในด้านของคุณภาพและปริมาณ อีกทั้งยังเกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมในการปรับปรุงคุณภาพของดิน ดังนั้นเกษตรกรส่วนใหญ่จึงได้เริ่มมองหาทางเลือกอื่นๆ ในการเพาะปลูกให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น และได้ให้ความสนใจกับการเพาะปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Soiless culture) ซึ่งการเพาะปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินนั้นสามารถจัดแบ่งประเภทของการเพาะปลูกพืชได้โดยการพิจารณาจากที่อยู่ของรากพืช ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ การเพาะปลูกพืชในน้ำ (Hydroponics) การเพาะปลูกพืชในวัสดุปลูกพืช (Substrate culture) และการเพาะปลูกพืชในอากาศ (Aeroponics) (ธรรมศักดิ์, 2557) โดยวิทยานิพนธ์นี้จะขอมุ่งเน้นไปที่การเพาะปลูกพืชในวัสดุปลูกพืช การเพาะปลูกพืชในวัสดุปลูก หมายถึง การเพาะปลูกพืชโดยการเลียนแบบพฤติกรรมของการเพาะปลูกพืชบนดิน แต่จะใช้วัสดุปลูกอื่นๆ มาทดแทน เช่น การเพาะปลูกพืชลงในวัสดุธรรมชาติ เช่น ขุยมะพร้าว แกลบ ทราาย กรวด ขี้เลื่อย ฯลฯ เป็นต้น ซึ่งข้อดีของการเพาะปลูกพืชในวัสดุปลูกคือ สามารถเพาะปลูกพืชได้ในพื้นที่ที่ดินมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก สามารถให้ผลผลิตทางการเกษตรที่มีคุณภาพสูงและมีความสม่ำเสมอ เนื่องจากผู้ปลูกสามารถควบคุมการให้น้ำและธาตุอาหารที่จำเป็นต่อต้นพืชได้อย่างเหมาะสม แต่วัสดุปลูกเหล่านี้ในส่วนใหญ่ ก่อนที่จะนำมาเพาะปลูกในครั้งแรกและขั้นตอนหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต มักจะมีความเสี่ยงจากการปนเปื้อนของเชื้อโรคและแบคทีเรียที่ติดต่อมาจากการสะสมในวัสดุปลูก ดังนั้นควรจะมีการฆ่าเชื้อโรคและแบคทีเรียในวัสดุปลูกเหล่านี้เสียก่อนที่จะนำมาเพาะปลูก และควรทำการฆ่าเชื้อโรคและแบคทีเรียอีกครั้งหลังเสร็จสิ้นการเก็บเกี่ยว เพื่อเตรียมความพร้อมก่อนที่จะนำวัสดุปลูกไปใช้เพาะปลูกในรอบถัดไป ในปัจจุบันวิธีการฆ่าเชื้อโรคและแบคทีเรียในวัสดุปลูกสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งวิธีที่นิยมคือ วิธีการอบวัสดุปลูกด้วยไอน้ำและวิธีการรมควันวัสดุปลูกด้วยสารเคมี (ปัญหาการผลิตและการจัดการ, 2558) โดยวิธีการอบวัสดุปลูกด้วยไอน้ำ สามารถทำได้โดยการติดตั้งหม้อต้มน้ำเพื่อผลิตไอน้ำและวางท่อไอน้ำไว้กลางรางวัสดุปลูก แล้วพ่นไอน้ำลงไปยัง

วัสดุปลูก ซึ่งในแต่ละปีจะมีการอบวัสดุปลูกอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง และในแต่ละครั้งจะใช้น้ำมันเตาประมาณ 40 L/hr หรือคิดเป็นปริมาณน้ำมันเตาที่ใช้ทั้งหมดเท่ากับ 480 L/Rai ส่งผลให้มีต้นทุนในการดำเนินการที่ค่อนข้างสูง นอกจากนี้ในการใช้หม้อไอน้ำจะทำได้เฉพาะในบริเวณที่รถยนต์สามารถเข้าถึง และวัสดุปลูกจะมีการปนเปื้อนของน้ำมันเตา ต่อมาคือวิธีการรมควันด้วยสารเคมี สามารถทำได้โดยการใช้แผ่นพลาสติกคลุมรางปลูกพืชแล้วทำการรมแก๊ส Methyl bromide หรือ Chloropicrin เข้าไปในแปลงวัสดุปลูกแล้วทิ้งไว้ประมาณ 4-5 วัน หลังจากนั้นเปิดแผ่นพลาสติกออกเพื่อให้แก๊สเจือจางแล้วจึงเริ่มทำการเพาะปลูกพืช หากโรงเรือนสามารถปิดสนิทได้อาจทำการรมควันทั้งโรงเรือนเพื่อฆ่าเชื้อโรคและแบคทีเรียที่อยู่ในส่วนต่างๆ ของโรงเรือนทั้งหมด ซึ่งวิธีการนี้มีต้นทุนในการดำเนินการที่ค่อนข้างสูง ซึ่งหากมีการใช้สารเคมีในระยะยาว จะทำให้เกิดการตกค้างและสะสมของสารเคมี ส่งผลให้เป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติและสิ่งแวดล้อม ที่สำคัญสารเคมีจะทำลายสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อวัสดุปลูกและพืช

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์ตลอดทั้งปีค่อนข้างสูงโดยพบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายน ถึงเดือนพฤษภาคม ตั้งแต่ 20-24 MJ/m²-day (พลังงานแสงอาทิตย์กับประเทศไทย, 2556) ซึ่งในอดีตนั้นเกษตรกรมักจะนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาทำการฆ่าเชื้อโรคและแบคทีเรียในดินก่อนที่จะทำการเพาะปลูก วิธีการนี้เรียกว่า การฆ่าเชื้อในดินด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (Soil solarization) (ชิดชนก และคณะ, 2554) สามารถปฏิบัติได้ในพื้นที่เพาะปลูกทั้งที่มีทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ซึ่งพื้นที่เพาะปลูกที่จะทำการฆ่าเชื้อจะต้องเป็นพื้นที่ที่ปราศจากสิ่งปกคลุมทั้งวัชพืช ต้นไม้หรือสิ่งปลูกสร้าง เพื่อประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อในดินที่ดีที่สุด ซึ่งสามารถทำได้โดยการนำพลาสติกโพลีเอธิลีน (Polyethylene plastic) สีหรือสีดำมาคลุมบริเวณผิวดินและทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 4-6 สัปดาห์ จะส่งผลให้อุณหภูมิดินมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับที่สามารถกำจัดหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรคและแบคทีเรียได้ ซึ่งวิธีการนี้มีต้นทุนในการดำเนินการที่ค่อนข้างต่ำ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมแต่ใช้เวลาในการฆ่าเชือนาน เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนที่ได้รับจากการแผ่ของรังสีอาทิตย์มายังดินนั้น จะสามารถถ่ายเทความร้อนให้แก่ดินได้ถึงจุดที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรคและแบคทีเรียได้แค่บริเวณผิวดิน แต่ที่ระดับความลึกมากกว่าผิวดินลงไปนั้น ความร้อนจากรังสีอาทิตย์มีการถ่ายเทความร้อนมายังดินที่ระดับความลึกต่างๆ น้อยมาก อันเป็นผลมาจากดินมีคุณสมบัติการนำความร้อนที่ต่ำ ทำให้ในปัจจุบันมีการพยายามปรับปรุงวิธีการนำเอาพลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์มากขึ้น ซึ่งวิธีการหนึ่งคือการใช้ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar collector) ที่สามารถผลิตอุณหภูมิน้ำร้อนได้เท่ากับ 60-70°C และสามารถนำน้ำร้อนมาประยุกต์ใช้ในการฆ่าเชื้อในดินได้ ซึ่งใช้เวลาในการดำเนินการที่สั้นลงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการฆ่าเชื้อแบบเดิม งานวิจัยส่วนใหญ่ที่ทำการศึกษาเป็นการประยุกต์ใช้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์มาทำการฆ่าเชื้อในดิน เช่น

C. Pérez-de-los-Reyes (C. Pérez-de-los-Reyes et al., 2009) ได้ทำการศึกษาการใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ (Flat-plate solar collector) ร่วมกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดรางพาราโบลา (Parabolic solar collector) มาทำน้ำร้อนและถ่ายเทความร้อนให้แก่ดิน เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในดินภายในโรงเรือน P. Thanathep. (Phitthayarachasak et al., 2009) ได้ทำการศึกษาการลดระยะเวลาในการฆ่าเชื้อในดินด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการพัฒนาตัวเก็บรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลาแบบไม่สมมาตร (ACPC) ให้สามารถทำน้ำร้อนร่วมกับการใช้พลาสติกคลุมบริเวณผิวดิน กุสุมน สมัครคำ (กุสุมน, 2547) ได้ศึกษาการพัฒนาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำร้อนกับดินเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในดิน โดยการนำแผงรับรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลาเป็นอุปกรณ์ทำน้ำร้อนแล้วส่งให้กับท่อทำน้ำร้อนผ่านไปยังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อทำการถ่ายโอนความร้อนให้แก่ดิน และชิตชนก แสนศรี (ชิตชนก และคณะ, 2554) ได้ทำการศึกษาระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์เพื่อใช้ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ในดิน โดยการประยุกต์ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลาที่มีท่อสูญญากาศเป็นตัวรับรังสี

จากงานวิจัยที่กล่าวข้างต้นสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนว่า การทำน้ำร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการฆ่าเชื้อในดินได้ แต่ยังไม่ปรากฏผลของการประยุกต์ที่ใช้กับวัสดุปลูกพืช อีกทั้งการศึกษาลูกส่วนใหญ่มุ่งเน้นการใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรางพาราโบลา ซึ่งไม่มีจำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป ต่างจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไปและยังสามารถหาซื้อได้ง่าย ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาการนำเอาระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบมาประยุกต์เพื่อใช้ในการฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกพืช โดยทำการออกแบบและสร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แล้วนำมาทดลองฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในวัสดุปลูกพืช ซึ่งคาดหวังว่างานวิจัยนี้จะสามารถสร้างประโยชน์ให้กับเกษตรกรได้ในอนาคต

และคณะ, 2009; Phitthayarachasak, และ

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลการใช้ทำน้ำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีผลต่อปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในวัสดุปลูก

3. ขอบเขตการศึกษา

1. ใช้ทำน้ำร้อนที่ผลิตได้จากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบขนาด 2.4 m²
2. อุณหภูมิทำน้ำร้อนที่ใช้ในการทดสอบไม่เกิน 80°C และมีแหล่งความร้อนเสริมโดยใช้ขดลวดขนาด 2.99 kW
3. ศึกษาผลของการใช้ทำน้ำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนที่มีผลต่อเชื้อ *Ralstonia solanacearum* เท่านั้น

4. ศึกษาอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อในวัสดุปลูก

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถลดระยะเวลาในการฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกให้รวดเร็วและสะดวกยิ่งขึ้น
2. ได้ระบบฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อผู้ใช้และสิ่งแวดล้อม
3. ได้องค์ความรู้การฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกด้วยระบบทำน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกพืชและดินชนิดต่างๆ ได้



บทที่ 2

ทฤษฎี และการตรวจเอกสาร

ทฤษฎี และการตรวจเอกสารที่ประกอบในการทำวิจัยประกอบด้วยหัวข้อ การปลูกพืชในวัสดุปลูก การฆ่าเชื้อในดินและวัสดุปลูก ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ การถ่ายโอนความร้อน และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การปลูกพืชในวัสดุปลูก

การปลูกพืชในวัสดุปลูก (Substrate culture) หมายถึง การปลูกพืชลงในวัสดุอื่นๆ ที่ไม่ใช่ดิน ซึ่งวัสดุปลูกจะมีหน้าที่เพื่อให้รากของพืชได้ทำการยึดเกาะและสามารถทำให้ต้นพืชเจริญเติบโตได้เป็นปกติ ซึ่งวัสดุปลูกในที่นี้หมายถึง วัสดุที่เป็นอินทรีย์สารและอนินทรีย์สาร ที่จะต้องไม่มีธาตุอาหารสะสมอยู่ การปลูกพืชลงในวัสดุปลูกแบบนี้ถือว่าเป็นการปลูกพืชที่มีลักษณะที่ใกล้เคียงกับการปลูกพืชในดินที่เป็นการปลูกพืชลงในกระถางหรือในภาชนะโดยใช้น้ำหยด แต่จะมีข้อแตกต่างกันตรงที่ในการปลูกพืชในดิน พืชจะได้รับสารอาหารและแร่ธาตุที่มีอยู่แล้วในดินหรือปุ๋ยที่ใส่ให้ในแต่ละครั้ง และได้รับน้ำจากการให้น้ำแบบน้ำหยด ส่วนการปลูกพืชในวัสดุปลูก พืชจะได้รับสารอาหารและแร่ธาตุไปพร้อมๆ กับการให้น้ำหยด เพราะฉะนั้นน้ำที่ทำการให้แก่ต้นพืชในวัสดุปลูกนั้น จะเป็นสารละลายธาตุอาหาร ดังนั้นหัวใจสำคัญของการปลูกพืชในวัสดุปลูกจึงเป็นการปลูกพืชในลักษณะที่ผู้ปลูกจะต้องเป็นผู้ที่ควบคุมการให้ปริมาณน้ำและธาตุอาหารผ่านสารละลายธาตุอาหารในปริมาณและความถี่ที่เหมาะสมต่อความต้องการของพืชชนิดนั้นๆ และในแต่ละช่วงเวลาของการเจริญเติบโตของพืชได้อย่างสมบูรณ์ และยังต้องมีการวางระบบระบายน้ำส่วนเกินที่ออกจากวัสดุปลูกด้วย แสดงดังภาพที่ 1 ความแตกต่างระหว่างการปลูกพืชในดินและการปลูกพืชในวัสดุปลูก แสดงดังตารางที่ 1 (ชิตติ และคณะ, 2556)



ภาพที่ 1 ระบบการปลูกพืชในวัสดุปลูกและให้สารละลายธาตุอาหารด้วยระบบน้ำหยด
ที่มา: (ระบบการปลูกผักโดยไม่ใช้ดินในรูปแบบต่างๆ, 2553)

ตารางที่ 1 ความแตกต่างระหว่างการปลูกพืชในดิน และการปลูกพืชในวัสดุปลูก

| การจัดการ | การปลูกพืชในดิน | การปลูกพืชในวัสดุปลูก |
|-------------------------------|-----------------|-----------------------|
| การควบคุมสมดุลธาตุอาหาร | ยาก | ง่าย |
| การใช้พื้นที่ | มาก | น้อย |
| การควบคุมปริมาณอากาศบริเวณราก | ยาก | ง่าย |
| การใช้น้ำ | สิ้นเปลือง | ประหยัด |
| การควบคุมโรคและแมลง | ยาก | ง่าย |
| การลงทุน | ต่ำถึงปานกลาง | สูง |
| ผลผลิต | ไม่สม่ำเสมอ | สม่ำเสมอ |
| แรงงาน | มาก | น้อย |
| ทักษะและความชำนาญ | น้อยถึงปานกลาง | มาก |

ที่มา: (ระบบการปลูกผักโดยไม่ใช้ดินในรูปแบบต่างๆ, 2553)

1.1 วัสดุปลูกที่เป็นอินทรีย์สาร

วัสดุปลูกที่เป็นอินทรีย์สาร ได้แก่ ขุยมะพร้าว มะพร้าวสับ ชี้เลื่อย แกลบ เปลือกไม้ เปลือกถั่ว และชานอ้อย เป็นต้น ซึ่งวัสดุเหล่านี้จัดว่าเป็นวัสดุตามธรรมชาติ สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น มีราคาถูก แต่มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำและระบายอากาศที่ยังไม่สมดุลกันภายในวัสดุเดียวกัน เช่น ขุยมะพร้าวเมื่อให้น้ำมากจนเกินไปจะอุ้มน้ำจนชุ่มและทำให้รากพืชขาดอากาศ ในขณะที่แกลบจะไม่อุ้มน้ำและมีลักษณะที่แห้งเกินไปสำหรับรากพืช เป็นต้น ซึ่งในการเลือกใช้วัสดุเหล่านี้จึงนิยมนำวัสดุที่สามารถอุ้มน้ำได้ดีไปผสมกับวัสดุอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติตรงกันข้าม เพื่อให้ได้วัสดุปลูกผสมที่มีคุณสมบัติอุ้มน้ำและระบายอากาศที่เหมาะสมต่อต้นพืช แสดงดังภาพที่ 2 (ชิตี และคณะ, 2556)



(ก) ขุยมะพร้าว



(ข) มะพร้าวสับ



(ค) เปลือกถั่ว



(ค) แกลบ

ภาพที่ 2 วัสดุปลูกที่เป็นอินทรีย์สาร

ที่มา: (วัสดุขยายพันธุ์พืช, 2547)

1.2 วัสดุปลูกที่เป็นอนินทรีย์สาร

วัสดุปลูกที่เป็นอนินทรีย์สาร ได้แก่ กรวด ททราย ฟองน้ำ หินภูเขาไฟ เพอร์ไลต์ เวอร์มิคูไลต์ และใยหิน เป็นต้น ซึ่งวัสดุเหล่านี้สามารถหาซื้อได้ทั่วไป ซึ่งจะมีราคาที่ถูกไปจนถึงราคาที่แพงแล้วแต่ วัสดุนั้นๆ วัสดุปลูกที่เป็นอนินทรีย์สารจะมีคุณสมบัติที่สะอาด ร่วน โปร่ง เบา และอุ้มความชื้นได้ดี จึงส่งผลให้อากาศสามารถแทรกตัวอยู่ในวัสดุปลูกได้ดี ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการของรากพืช แสดงดัง ภาพที่ 3 (ชิตี และคณะ, 2556)



(ก) กรวด-ทราย



(ข) หินภูเขาไฟ



(ค) เพอร์ไลต์



(ง) เวอร์มิคูไลต์

ภาพที่ 3 วัสดุปลูกที่เป็นอนินทรีย์สาร

ที่มา: (Zen, 2015)

1.3 หลักเกณฑ์พิจารณาการเลือกใช้วัสดุปลูก

การเลือกใช้วัสดุปลูกในการเพาะปลูกพืช จำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ แล้วนำมาพิจารณา ร่วมกันและหาข้อสรุปในการเลือกใช้ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (ชิตี และคณะ, 2556)

1. ด้านเทคนิควัสดุปลูกจะต้องมีคุณสมบัติอัตราส่วนของน้ำและอากาศที่เหมาะสมตลอดการเพาะปลูก ซึ่งอัตราส่วนของ น้ำ : อากาศ ที่เหมาะสมจะอยู่ที่ประมาณ 50 : 50

2. วัสดุปลูกจะต้องไม่มีการอัดตัวหรือยุบตัวเมื่อเปียกน้ำหรือเมื่อใช้เป็นระยะเวลาานาน และวัสดุปลูกจะต้องไม่เกิดการสลายตัวทั้งทางเคมีและทางชีวภาพ รากพืชจะต้องสามารถแพร่กระจายได้ทั่วทุกส่วนของวัสดุปลูก

3. วัสดุปลูกจะต้องมีคุณสมบัติเฉื่อยทางเคมี คือ จะต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารละลายธาตุอาหารและกับภาชนะที่ใช้บรรจุ วัสดุปลูกจะต้องมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุต่ำหรือไม่มีเลย เพื่อจะได้ไม่มีผลต่อองค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหารของพืช

4. วัสดุปลูกจะต้องเป็นวัสดุที่สามารถกำจัดโรคและแมลงได้ง่าย ซึ่งทำให้สามารถนำวัสดุปลูกกลับมาใช้ใหม่ได้ง่าย

5. วัสดุปลูกควรมีราคาต้นทุนที่ไม่แพงจนเกินไป ราคาโดยรวมถึงค่าขนส่งหรือค่าใช้จ่ายในด้านอื่นๆ เช่น วัสดุปลูกบางชนิดต้องการที่เก็บที่ดีเป็นพิเศษ ดังนั้นจึงต้องรวมถึงค่าโรงเรือนในการเก็บรักษาวัสดุปลูก

6. ต้องพิจารณาถึงอายุการใช้งาน ค่าใช้จ่ายในการกำจัดโรคและแมลง เมื่อนำวัสดุปลูกนั้นๆ มาใช้ใหม่ เช่น วัสดุบางชนิดมีอายุการใช้งานที่ยาวนานมาก เช่น กรวด หินภูเขาไฟ แต่บางอย่างมีอายุการใช้งานเพียง 1-2 ครั้ง ของการปลูกเท่านั้น ดังนั้นจึงต้องพิจารณาตามความเหมาะสมของวัสดุปลูกชนิดนั้นๆ

จากคุณสมบัติเหล่านี้ยังไม่มีวัสดุปลูกชนิดใดที่มีคุณสมบัติครบดังที่ได้กล่าวมา ดังนั้นผู้เพาะปลูกพืชบางท่านอาจใช้วิธีการนำเอาวัสดุปลูกที่มีคุณสมบัติที่ดีแต่ละอย่างมาทำการผสมรวมกันเพื่อให้ได้วัสดุปลูกที่มีคุณสมบัติที่ดีและเหมาะสมต่อการเพาะปลูก ซึ่งการผสมวัสดุปลูกใช้เองเป็นเรื่องที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ขึ้นอยู่กับลักษณะของวัสดุปลูกที่ต้องการใช้ และวัสดุที่จะนำมาใช้นั้นสามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น ซึ่งส่วนประกอบที่นำมาใช้จะพิจารณาจากส่วนประกอบของวัสดุปลูกที่เป็นอินทรีย์สาร เช่น ทรายหยาบที่สามารถหาได้ง่ายในชุมชน เพื่อช่วยให้วัสดุคงตัวไม่สลายง่าย ระบายน้ำได้ดี และเป็นที่ยึดเกาะของรากพืชได้ นำมาผสมกับวัสดุปลูกที่เป็นอินทรีย์สาร เช่น แกลบดิบ ถ่านแกลบ ขุยมะพร้าว เป็นต้น ซึ่งการเลือกใช้วัสดุปลูกที่เป็นอินทรีย์สาร ควรใช้มากกว่าหนึ่งชนิดและมีความสามารถปุ๋ยได้แตกต่างกัน นอกจากนั้นให้พิจารณาเลือกใช้แหล่งอาหารของพืช เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยวิทยาศาสตร์ ในอัตราที่เหมาะสมและเพียงพอต่อความต้องการของพืช แล้วปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้เหมาะสมโดยการใช้ปูนขาว และที่สำคัญการใช้ดินร่วนเป็นส่วนผสมในวัสดุปลูก จะช่วยให้พืชได้รับธาตุอาหารรองอย่างครบถ้วน

1.4 ข้อดี และข้อเสียของการปลูกพืชในวัสดุปลูก

การปลูกพืชในวัสดุปลูกได้รับการพัฒนาขึ้นมาเนื่องจาก ปัญหาของการเพาะปลูกพืชในดินที่มีความยุ่งยาก สิ้นเปลืองแรงงาน และมีการระบาดของโรคและแมลง ดังนั้นการเพาะปลูกพืชลงในวัสดุ

ปลูกจึงอาจคุ้มค่า ซึ่งควรพิจารณาตัดสินใจตามสภาพปัญหา ชนิด และราคาของวัสดุปลูกตามความเหมาะสมในแต่ละสถานที่ ซึ่งข้อดีและข้อเสียของวัสดุปลูกมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (ชิตติ และคณะ, 2556)

ข้อดี

1. เป็นวิธีการปลูกพืชที่ช่วยให้สามารถปลูกพืชได้ในสถานที่ที่ไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืช เช่น พื้นที่ที่ดินมีสภาพเป็นกรดจัด-เค็มจัด ดินมีสภาพที่เสื่อมโทรมและขาดความอุดมสมบูรณ์ของแร่ธาตุอาหาร หรือแม้แต่สถานที่ที่ไม่มีดินเลย เช่น พื้นคอนกรีตรอบบ้าน ดาดฟ้า และหลังคาตึก เป็นต้น รวมทั้งในแหล่งที่มีน้ำอยู่อย่างจำกัด เช่น ทะเลทราย เป็นต้น
2. เป็นวิธีการปลูกพืชที่ช่วยให้สามารถปลูกพืชได้จำนวนต่อพื้นที่ได้มากขึ้น โดยไม่ต้องคำนึงถึงความอุดมสมบูรณ์ของดินเพราะว่า พืชไม่ต้องแย่งน้ำและอาหารระหว่างกัน
3. เป็นวิธีการปลูกพืชที่ทำให้พืชเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เนื่องจากพืชได้รับน้ำและสารอาหารอย่างเพียงพอและมีประสิทธิภาพ เนื่องจากธาตุอาหารที่ให้แก่พืชนั้นสามารถนำไปใช้ได้ทันทีและมีการสูญเสียน้อยมาก
4. เป็นวิธีการปลูกที่ให้ผลผลิตที่สูงทั้งในด้านของคุณภาพและปริมาณ เนื่องจากพืชได้รับปัจจัยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต
5. เป็นวิธีที่ช่วยให้สามารถปลูกพืชได้มากครั้ง/ปี เพราะไม่ต้องมีการเตรียมดินใหม่ จึงทำให้ปลูกพืชรุ่นต่อไปได้ทันทีอย่างต่อเนื่อง
6. สามารถตัดปัญหาเกี่ยวกับศัตรูพืชที่เกิดจากดิน ส่งผลให้สามารถปลูกพืชในพื้นที่เดียวกันได้ตลอดปี ถึงแม้ว่าจะเป็นพืชชนิดเดียวกัน

ข้อเสีย

1. เป็นวิธีการปลูกพืชที่มีการลงทุนที่ค่อนข้างสูงในตอนเริ่มต้น เนื่องจากประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ มากมายและมีราคาที่ค่อนข้างแพง
2. เป็นวิธีการปลูกพืชที่ต้องการการดูแลรักษาอย่างใกล้ชิด ซึ่งต้องการบุคลากรที่มีความชำนาญและประสบการณ์มากพอสมควรในการดูแลรักษา
3. โรคและแมลงสามารถแพร่ระบาดได้อย่างรวดเร็วหากควบคุมไม่ได้
4. พืชจะได้รับผลกระทบอย่างรวดเร็วหากปลูกในสภาพที่ไม่เหมาะสม
5. ชนิดพืชที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกในวัสดุปลูกมีไม่มากนัก เช่น พืชผัก ไม้ดอก-ไม้ประดับ เป็นต้น ส่วนไม้ผลที่นิยมจะเป็นไม้ผลขนาดเล็ก เช่น สตรอเบอร์รี่ เป็นต้น
6. วัสดุปลูกบางชนิดเน่าเปื่อยหรือสลายตัวได้ค่อนข้างช้า เช่น แร่ใยหิน เมื่อต้องการผลัดเปลี่ยนวัสดุปลูกใหม่หลังการเก็บเกี่ยว จะทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการหาสถานที่ที่จะต้องทิ้งแร่ใย

หิน ซึ่งไม่สลายตัวง่ายๆ ในธรรมชาติ เกิดเป็นปัญหาทางสิ่งแวดล้อมตามมา ซึ่งเกิดขึ้นแล้วกับประเทศในแถบทวีปยุโรป

2. การฆ่าเชื้อในดิน และวัสดุปลูก

ดินและวัสดุปลูกที่จะนำมาปลูกพืชในแต่ละครั้งส่วนใหญ่ มักจะมีความเสี่ยงจากการระบาดของเชื้อโรคที่สะสมอยู่ในดินและวัสดุปลูกจนมากพอที่จะสามารถก่อให้เกิดโรคพืช ซึ่งสามารถสร้างความเสียหายรุนแรงต่อพืชผลที่ได้ทำการเพาะปลูก ดังนั้นการป้องกันโดยการฆ่าเชื้อในดินและวัสดุปลูกจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก ซึ่งวิธีที่นิยมในปัจจุบันมีดังต่อไปนี้ (ปัญหาการผลิตและการจัดการ , 2558)

2.1 การฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกด้วยไอน้ำ

การฆ่าเชื้อในดินและวัสดุปลูกด้วยไอน้ำ มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่ค่อนข้างสูง เพราะต้องทำการติดตั้งหม้อต้มน้ำ ยกเว้นโรงเรือนที่ติดตั้งระบบเพิ่มอุณหภูมิภายในโรงเรือนด้วยไอน้ำอยู่ก่อนแล้ว สามารถทำได้โดยการวางท่อไอน้ำกลางรางวัสดุปลูกและครอบวางปลูกด้วยวัสดุที่เป็นฉนวนกันความร้อน แล้วจึงทำการพ่นไอน้ำโดยใช้เวลาประมาณ 3 hr ที่อุณหภูมิเท่ากับ 180°F หรือคิดเป็นเท่ากับ 212°C ซึ่งในแต่ละปีจะทำการอบอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง หรือหลังฤดูการเก็บเกี่ยว และในแต่ละครั้งจะใช้น้ำมันเตาประมาณเท่ากับ 40 L/hr หรือคิดเป็นปริมาณน้ำมันเตาที่ใช้ทั้งหมดเท่ากับ 480 L/Rai ซึ่งหากสามารถทำการฝังท่อไอน้ำไว้ในดินและวัสดุปลูกได้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อได้ดีขึ้น (ปัญหาการผลิตและการจัดการ, 2558)

2.2 การฆ่าเชื้อในดิน และวัสดุปลูกด้วยสารเคมี

การฆ่าเชื้อในดินและวัสดุปลูกด้วยสารเคมี มีต้นทุนในการดำเนินการที่ค่อนข้างสูง สามารถทำได้โดยใช้แผ่นพลาสติกคลุมรางปลูกพืช แล้วทำการรมแก๊ส Methyl bromide หรือ Chloropicrin เข้าไปในแปลงวัสดุปลูกแล้วทิ้งไว้ประมาณ 4-5 วัน หลังจากนั้นเปิดแผ่นพลาสติกออกและทิ้งไว้เป็นระยะเวลาหนึ่ง เพื่อให้แก๊สเจือจางแล้วจึงเริ่มทำการเพาะปลูกพืช หรืออีกวิธีการหนึ่งคือการราดด้วยสารเคมีโดยตรงลงบนดินหรือวัสดุปลูก ซึ่งการฆ่าเชื้อด้วยวิธีนี้เป็นวิธีที่สะดวกและมีค่าใช้จ่ายต่ำ สามารถทำได้โดยใช้สารฆ่าเชื้อที่เป็นของเหลว เช่น Formaldehyde หรือ Sodium hypochlorite เจือจางให้มีความเข้มข้นที่เหมาะสมแล้วราดลงบริเวณแปลงวัสดุปลูกหรือบริเวณโรงเรือน ทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งจึงทำการล้างสารที่ตกค้างอยู่ออก หลังจากนั้นจึงทำการปลูกพืช ซึ่งวิธีการนี้หากมีการใช้สารเคมีในระยะยาว จะส่งผลทำให้เกิดการตกค้างและสะสมของสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติและ

สิ่งแวดล้อม ที่สำคัญสารเคมีอาจจะทำลายสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อวัสดุปลูกและพืช (ปัญหาการผลิตและการจัดการ, 2558)

2.3 การฆ่าเชื้อในดินด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

การฆ่าเชื้อในดินด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ค้นพบในปี ค.ศ.1979 ซึ่งสามารถทำในพื้นที่เพาะปลูกหรือแปลงปลูกที่มีทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ มีต้นทุนในการดำเนินการที่ค่อนข้างต่ำ เป็นเทคนิคการคลุมหน้าดินโดยไม่มีการใช้สารเคมีและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยอาศัยพลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์โดยตรงมาทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งด้านกายภาพ ชีวภาพ และเคมี โดยการใช้พลาสติกโพลีเอทิลีน (Polyethylene plastic) ที่มีความหนาประมาณ 1-4 mm แสดงดังภาพที่ 4 มาทำการปกคลุมบริเวณหน้าดินหรือผิวดินในช่วงฤดูร้อนหรือช่วงแดดจัด จะส่งผลให้ความร้อนจากอากาศภายในแผ่นพลาสติกที่ปกคลุมดินเกิดการถ่ายเทความร้อนสู่ดินที่ระดับความลึกต่างๆ ซึ่งดินที่จะทำการฆ่าเชื้อด้วยพลังงานแสงอาทิตย์นั้นจะต้องมีความเปียก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการพรมน้ำลงดินเพื่อเพิ่มความชื้นให้กับดิน และต้องใช้พลาสติกมาทำการปกคลุมดินอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลาประมาณ 4-6 สัปดาห์ เพื่อให้เกิดการสะสมความร้อนและถ่ายเทความร้อนสู่ดินที่ระดับความลึกต่างๆ ลงไป ซึ่งค่าของอุณหภูมิดินที่เพิ่มสูงขึ้นจะขึ้นอยู่กับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ ชนิดของดิน อุณหภูมิอากาศแวดล้อม สภาพท้องฟ้าที่โปร่ง และความเร็วลม (ชิดชนก และคณะ, 2554)



ภาพที่ 4 การคลุมดินด้วยพลาสติกโพลีเอทิลีน

ที่มา: (Soil Solarization, 2005)

2.4 เชื้อ *Ralstonia solanacearum*

เชื้อ *Ralstonia solanacearum* เป็นเชื้อที่เป็นสาเหตุก่อให้เกิดโรคเหี่ยวในพืช สามารถเข้าทำลายพืชได้ที่ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิแวดล้อมระหว่าง 30-35°C แต่ไม่สามารถมีชีวิตรอดอยู่ที่อุณหภูมิระหว่าง 37-45°C พืชอาศัยที่สำคัญคือ มันฝรั่ง มะเขือเทศ ปทุมมา และขิง เป็นต้น ลักษณะอาการที่พบโดยทั่วไปคือ ในระยะแรกพืชจะเกิดอาการเหี่ยวที่ยอดก่อนในช่วงเวลากลางวันที่มีอากาศร้อน และฟื้นเป็นปกติในช่วงเวลากลางคืน แสดงดังภาพที่ 5 หลังจากนั้นพืชจะแสดงอาการเหี่ยวอย่างถาวรทั้งต้น ใบจะม้วนงอลงพื้นทั้งๆ ที่ต้นยังเขียวอยู่ และตายลงอย่างรวดเร็วในเวลาประมาณ 2-3 วัน



ภาพที่ 5 ลักษณะอาการเหี่ยวของต้นพืชที่ติดเชื้อ *Ralstonia solanacearum*

ที่มา: (สุมาลี, 2563)

การควบคุมโรคเพื่อป้องกันการแพร่ระบาดของเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ที่นิยมในปัจจุบัน คือ การใช้หัวพันธุ์ที่ปราศจากเชื้อ การปลูกพืชหมุนเวียน โดยการเปลี่ยนหรือสลับเอาพันธุ์พืชชนิดที่เชื้อไม่สามารถเข้าทำลายหรือก่อให้เกิดโรคได้มาปลูกแทนอย่างน้อย 5 ปี ซึ่งพืชที่เชื้อไม่สามารถเข้าทำลายได้หรือก่อให้เกิดโรคได้แก่ พวกรั้วพืช เช่น ข้าวโพด และข้าวฟ่าง เป็นต้น ควรที่จะหลีกเลี่ยงการปลูกพืชบริเวณที่เคยเกิดโรคระบาดและการใช้สารเคมี นอกจากนี้ยังมีการใช้วิธีการทางกายภาพและชีวภาพ เช่น การใช้อากาศร้อนในการควบคุมโรค การปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยยูเรียร่วมกับเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ และการใช้ความร้อนจากไอน้ำในการอบดิน เป็นต้น แต่จนกระทั่งปัจจุบันก็ยัง

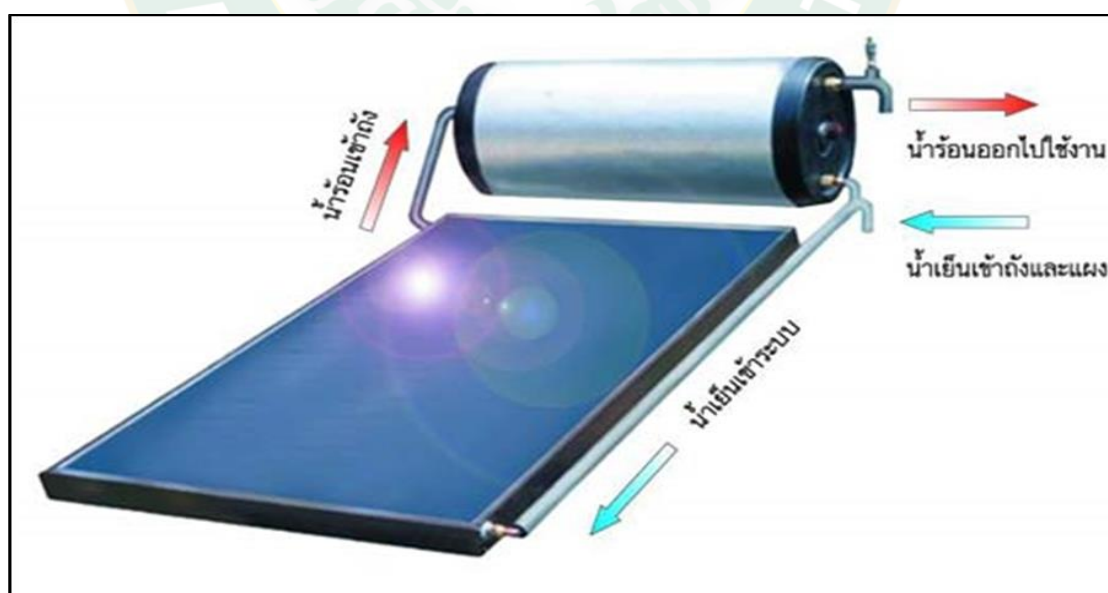
ไม่มีวิธีการใดที่จะสามารถกำจัดหรือยับยั้งเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ได้ 100% เพียงแต่ทำให้ปริมาณเชื้อลดลงให้เหลือน้อยที่สุด (ปริยาภรณ์, 2543)

3. ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar hot water heating system) คือการประยุกต์นำเอาพลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์มาถ่ายโอนพลังงานความร้อนให้กับน้ำหรือของไหลในระบบ เพื่อให้มีอุณหภูมิที่สูงขึ้น และสามารถนำน้ำร้อนที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการต่างๆ ในด้านความร้อน ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท (Solar collector, 2014)

1. Passive solar hot water heating system

เป็นระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้คุณสมบัติของของไหลในการทำงาน หรือเรียกอีกชื่อว่า ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอน (Thermosyphon) แสดงดังภาพที่ 6 โดยเมื่อน้ำในระบบได้รับความร้อนจะส่งผลให้มีความหนาแน่นลดลงและลอยตัวสูงขึ้นแล้วไปถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำในถังเก็บน้ำร้อน (Storage tank) ส่งผลให้น้ำในถังเก็บน้ำร้อนมีอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น ส่วนน้ำเย็นที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะเคลื่อนที่กลับมาแทนที่น้ำในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ข้อดีของระบบนี้คือ ไม่มีการใช้พลังงานไฟฟ้า ส่วนข้อเสียคือ ประสิทธิภาพระบบจะค่อนข้างต่ำและถังเก็บน้ำร้อนจะต้องอยู่สูงกว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์เท่านั้น

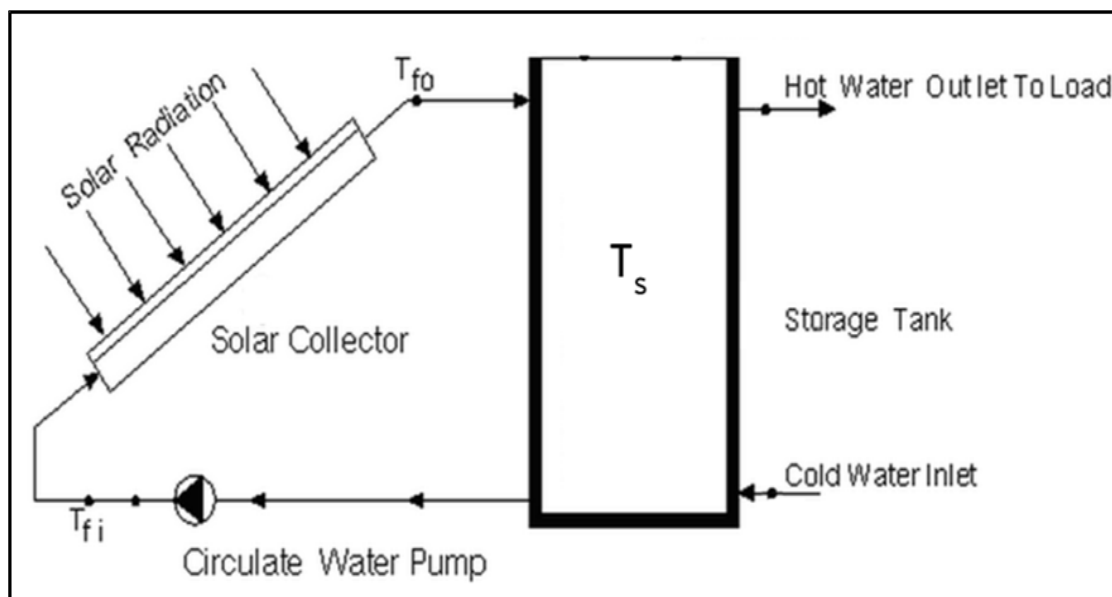


ภาพที่ 6 ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอน

ที่มา: (Thermosyphon Heat Exchanger, 2011)

2. Active solar hot water heating system

เป็นระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ปั๊มน้ำร้อนในการหมุนเวียนน้ำในระบบ (Circulate water pump) แสดงดังภาพที่ 7 โดยจะปั๊มน้ำผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เพื่อรับความร้อนจากรังสีอาทิตย์ไปถ่ายเทความร้อนให้แก่น้ำในถังเก็บน้ำร้อน (Storage tank)



ภาพที่ 7 ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ปั๊มน้ำร้อนในการหมุนเวียนน้ำในระบบ
ที่มา: (กันต์พงศ์ และคณะ, 2559)

3.1 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar collector) คืออุปกรณ์ที่มีหน้าที่ในการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ซึ่งจะแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้อยู่ในรูปแบบของพลังงานความร้อนแล้วไปถ่ายเทความร้อนให้แก่น้ำซึ่งเป็นสารทำงานที่ไหลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ส่งผลให้น้ำมีอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น แสดงดังภาพที่ 8 ซึ่งส่วนประกอบหลักของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีดังต่อไปนี้ (เกียรติศักดิ์, 2558)

1. **ผิวด้านที่รับพลังงานจากแสงอาทิตย์** สามารถใช้วัสดุโปร่งใสใดๆ ก็ได้ในการทำผิวด้านนี้ แต่โดยทั่วไปแล้วจะใช้กระจกเนื่องจากมีความแข็งแรง ทนต่อการแตกร้าวและการขีดข่วน เมื่อแสงอาทิตย์ผ่านกระจกและตกกระทบผิวภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ จะก่อให้เกิดความร้อนขึ้น ซึ่งคุณสมบัติเด่นของกระจกคือ ยอมให้แสงผ่านได้ง่ายและเป็นฉนวนกั้นความร้อนที่ดี ส่งผลให้เกิดการสะสมความร้อนที่ดียิ่งขึ้น

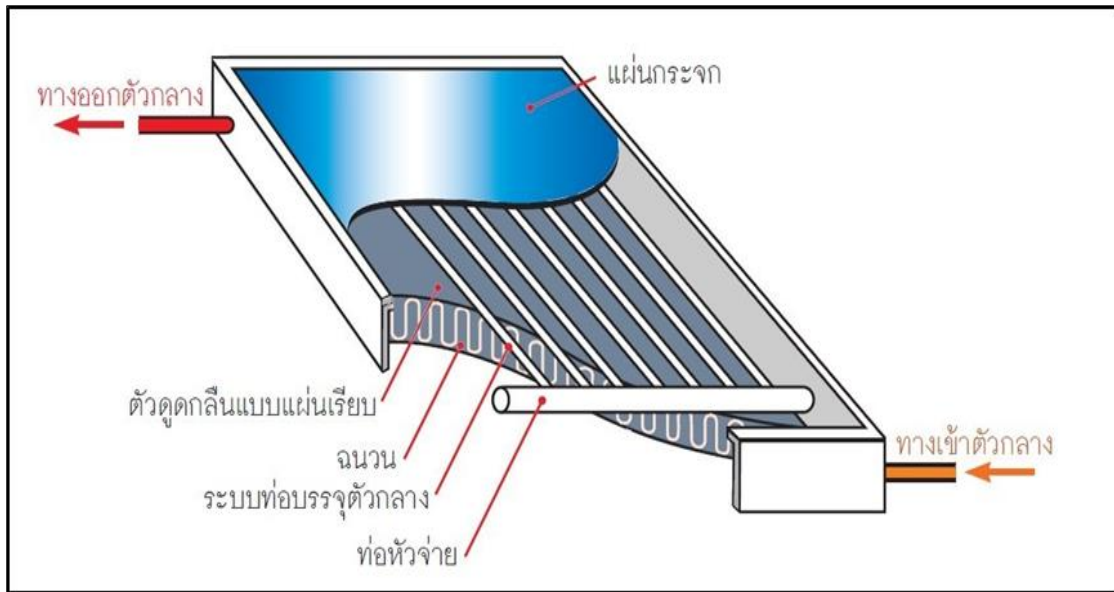
2. ตัวดูดซับรังสี หรือแผ่นรับรังสีอาทิตย์ ส่วนมากทำจากวัสดุประเภทโลหะ เช่น แผ่นเหล็ก สังกะสีหรือทองแดงที่ต้องมีการทาด้วยสีดำด้าน เนื่องจากวัสดุสีดำหรือสีทึบจะมีความสามารถในการดูดความร้อนสูง ซึ่งวัสดุเหล่านี้จะทำหน้าที่ดูดซับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ หากปราศจากตัวดูดซับรังสีจะทำให้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ไม่สามารถที่จะผลิตความร้อนให้เพียงพอต่อการทำน้ำร้อนได้

3. ฉนวนกันความร้อน ธรรมชาติของการถ่ายเทความร้อนจะเกิดการถ่ายเทจากพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูงไปยังพื้นที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ฉนวนกันความร้อนจึงเป็นอุปกรณ์ที่ป้องกันไม่ให้ความร้อนภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ไหลรั่วออกมาสู่สิ่งแวดล้อมซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า ดังนั้นจึงถือว่าฉนวนกันความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในทุกรูปแบบ

4. ท่อทางเข้า และทางออกของน้ำร้อน เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นช่องทางในการกำหนดทิศทางการไหลให้แก่ น้ำที่ไหลในระบบ โดยน้ำจะไหลเข้าสู่ท่อทางเข้าเพื่อทำการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้รับ และน้ำร้อนจะไหลออกตรงบริเวณท่อทางออกเพื่อที่จะนำของไหลไปเก็บสะสมยังถังเก็บน้ำร้อนต่อไป

3.2 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat-plate solar collector) มีลักษณะเป็นแผงโลหะ ประกอบด้วย ตัวดูดกลืนที่เป็นแผ่นเรียบรับแสงทำจากทองแดงหรืออลูมิเนียมซึ่งมีระบบท่อเชื่อมติดอยู่ด้านบนของแผ่นรับแสง และปิดทับด้วยกระจกหรือพลาสติกที่เคลือบด้วยสารพิเศษที่มีคุณสมบัติเลือกรังสีช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดกลืนแสงอาทิตย์และลดอัตราการปลดปล่อยพลังงานในรูปแบบของแสง ซึ่งในส่วนของตัวแผงโลหะและขอบทังสี่ด้านจะถูกหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน เพื่อลดอัตราการสูญเสียพลังงานจากการนำความร้อน แสดงดังภาพที่ 8 ซึ่งโดยทั่วไปตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบสามารถนำมาใช้ผลิตน้ำร้อนได้ในช่วงอุณหภูมิไม่เกิน 80°C ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ มากมาย เช่น การทำน้ำร้อนเพื่อใช้ในอาคารบ้านเรือน โรงแรม โรงพยาบาล คอนโดมิเนียม โรงงานอุตสาหกรรม หรือผลิตน้ำอุ่นสำหรับสระว่ายน้ำ เป็นต้น แสดงดังภาพที่ 9 (การใช้ประโยชน์จากพลังงานความร้อนของแสงอาทิตย์, 2557)



ภาพที่ 8 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

ที่มา: (การใช้ประโยชน์จากพลังงานความร้อนของแสงอาทิตย์, 2557)

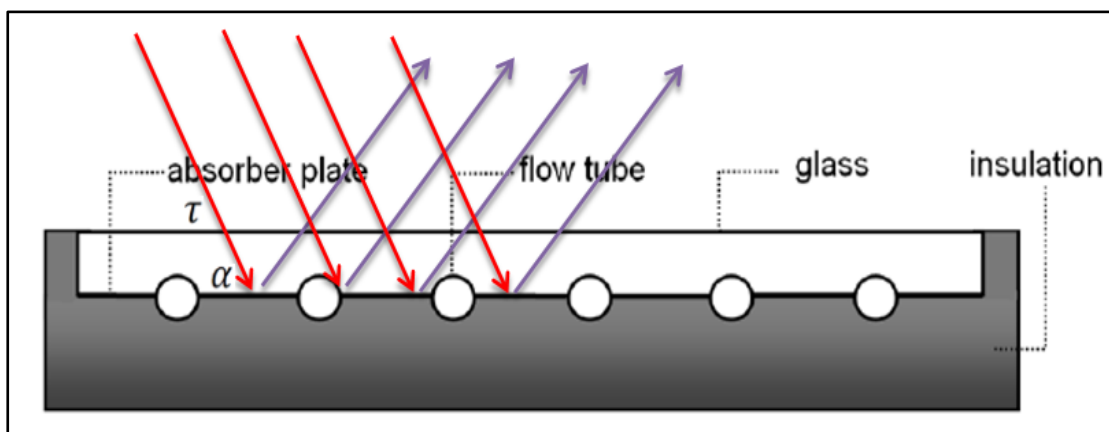


ภาพที่ 9 การประยุกต์ใช้ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ที่มา: (เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์, 2551)

3.3 การส่งผ่าน และดูดกลืนรังสีของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

เมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบบนแผ่นปิดโปร่งแสง ค่ารังสีอาทิตย์บางส่วนจะทะลุผ่านแผ่นปิดโปร่งแสง ซึ่งมีค่าดูดรังสี (α) และเมื่อกระทบกับผิววัตถุด้านล่างค่ารังสีอาทิตย์บางส่วนจะถูกดูดกลืน ($\tau\alpha$) และบางส่วนจะสะท้อนกลับไปที่แผ่นปิดโปร่งแสง ซึ่งจะมีการสะท้อนกลับขึ้นมา แสดงดังภาพที่ 10 (เกียรติศักดิ์, 2558)



ภาพที่ 10 การส่งผ่าน และดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ
ที่มา: (เกียรติศักดิ์, 2558)

3.4 สมดุลพลังงานตัวเก็บรังสีอาทิตย์

สมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ สามารถอธิบายได้โดยการใช้หลักการสมดุลพลังงาน แสดงดังภาพที่ 11 เมื่อพิจารณาที่สภาวะคงที่ (Steady state condition) ดังนั้นสามารถทำการหาอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้รับ (Q_{coll}) จากการสมดุลพลังงาน (Energy balance) แสดงดังสมการที่ 1

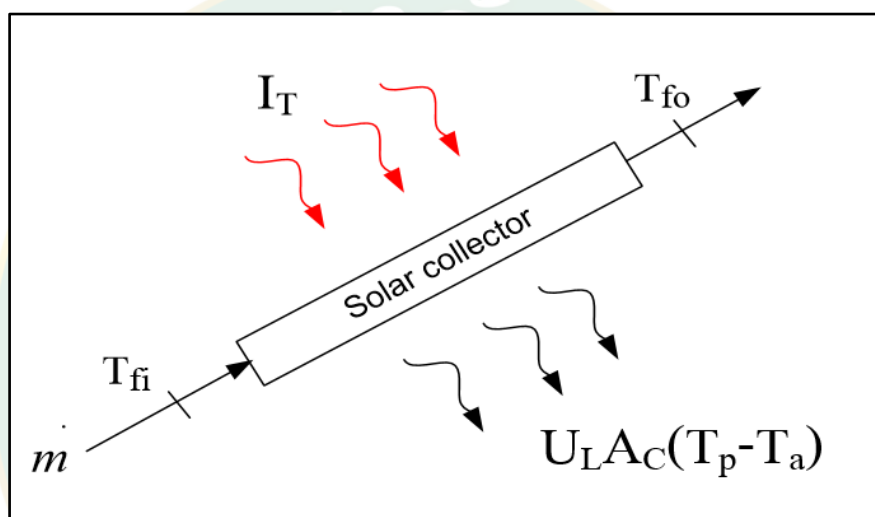
พลังงานเข้า = พลังงานออก + พลังงานที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้รับ

$$A_c(\tau\alpha)_e I_T = U_L A_c (T_p - T_a) + Q_{coll} \quad \text{สมการที่ 1}$$

จัดรูปสมการที่ (1) ใหม่จะได้สมการที่ (2) ดังนี้

$$Q_{coll} = A_c [(\tau\alpha)_e I_T - U_L (T_p - T_a)] \quad \text{สมการที่ 2}$$

| | | |
|-----|------------------|--|
| โดย | Q_{coll} | คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (W) |
| | A_c | คือ พื้นที่ที่เก็บรังสีอาทิตย์ (m^2) |
| | I_T | คือ ปริมาณพลังงานรังสีอาทิตย์ (W/m^2) |
| | T_a | คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ($^{\circ}C$) |
| | $(\tau\alpha)_e$ | คือ ค่าการส่องผ่าน-ดูดกลืนรังสีอาทิตย์ |
| | U_L | คือ ค่าการสูญเสียความร้อนรวม ($W/m^2\cdot^{\circ}C$) |
| | T_p | คือ อุณหภูมิผิวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ ($^{\circ}C$) |



ภาพที่ 11 สมดุลพลังงานตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ที่มา: (กันต์พงศ์ และคณะ, 2559)

ในทางปฏิบัติเนื่องจากอุณหภูมิผิวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (T_p) สามารถทำการตรวจวัดได้ยาก จึงมักใช้อุณหภูมิของของไหลที่ใช้เป็นสารทำงาน (T_{fm}) ในตัวเก็บรังสีอาทิตย์แทน แสดงดังสมการที่ 3

$$Q_{coll} = A_c F' [(\tau\alpha)_e I_T - U_L (T_{fm} - T_a)] \quad \text{สมการที่ 3}$$

เมื่อ F' คือ แฟกเตอร์ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Collector efficiency factor) เป็นอัตราส่วนของพลังงานที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ต่อพลังงานที่ได้เมื่ออุณหภูมิผิวดูดกลืนรังสีอาทิตย์มีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของไหล (T_{fm}) แสดงดังสมการที่ 4

$$T_{fm} \cong \frac{(T_{fo} + T_{fi})}{2} \quad \text{สมการที่ 4}$$

ในการออกแบบเป็นเรื่องยากที่จะทำการคำนวณหาอุณหภูมิของไหลหรือสารทำงานในระบบที่ออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (T_{fo}) จากสมการที่ 4 ดังนั้นจึงใช้ค่าอุณหภูมิของไหลหรือสารทำงานในระบบที่เข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (T_{fi}) เพียงค่าเดียว ดังนั้นค่าอัตราส่วนความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แสดงดังสมการที่ 5

$$Q_{coll} = A_c F_R [(\tau\alpha)_e I_T - U_L (T_{fi} - T_a)] \quad \text{สมการที่ 5}$$

จัดรูปสมการที่ (5) ใหม่ จะได้สมการที่ (6) ดังนี้

$$Q_{coll} = A_c [F_R (\tau\alpha)_e I_T - F_R U_L (T_{fi} - T_a)] \quad \text{สมการที่ 6}$$

โดยสมการที่ 6 มีชื่อเรียกว่า สมการของ Hottel-Willier-Bliss เมื่อ F_R คือ ค่าแฟกเตอร์การดึงความร้อน (Heat removal factor) เป็นอัตราส่วนความร้อนที่ได้จริงจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ต่อพลังงานความร้อนที่ถูกดึงโดยของไหลหรือสารทำงานในตัวเก็บรังสีอาทิตย์

กรณีที่สารทำงานไม่มีการเปลี่ยนสถานะหรืออยู่ในสภาวะ Steady state ค่าพลังงานความร้อน แสดงดังสมการที่ 7

$$Q_{coll} = \dot{m} C_p (T_{fo} - T_{fi}) \quad \text{สมการที่ 7}$$

| | | |
|-----|-----------|--|
| โดย | \dot{m} | คือ อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s) |
| | C_p | คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของสารทำงาน (J/kg·°C) |
| | T_{fo} | คือ อุณหภูมิของน้ำที่ไหลออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (°C) |
| | T_{fi} | คือ อุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (°C) |

ดังนั้นสามารถหาความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้รับ จากสมการที่ 6 และสมการที่ 7 แสดงดังสมการที่ 8

$$Q_{coll} = A_c [F_R (\tau\alpha)_e I_T - F_R U_L (T_{fi} - T_a)] = \dot{m} C_p (T_{fo} - T_{fi}) \quad \text{สมการที่ 8}$$

และสามารถหาอุณหภูมิของของไหลหรือน้ำร้อนที่ออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แสดงดังสมการที่ 9

$$T_{fo} = T_{fi} + \frac{A_c[F_R(\tau\alpha)_e I_T - F_R U_L (T_{fi} - T_a)]}{\dot{m} c_p} \quad \text{สมการที่ 9}$$

3.5 ค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Collector efficiency) จะเป็นดัชนีที่ใช้บอกความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน แสดงดังสมการที่ 10

$$\eta_{coll} = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} = \frac{Q_{coll}}{A_c I_T} \quad \text{สมการที่ 10}$$

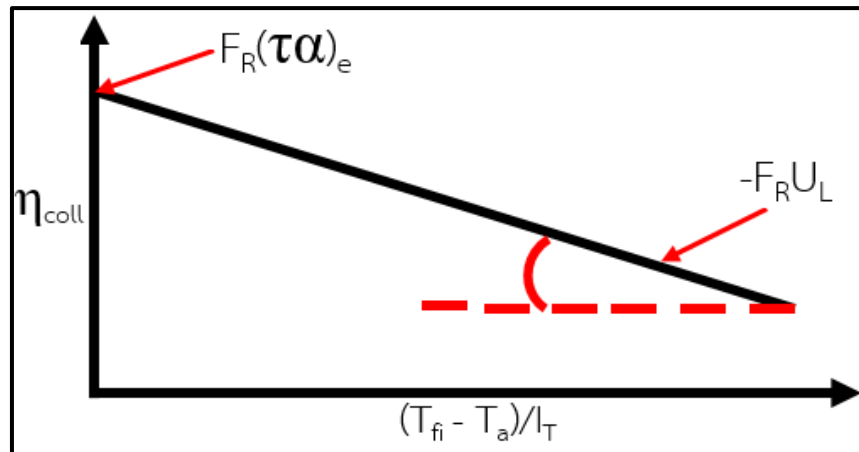
ทำการแทนค่า Q_{coll} ในส่วนของ Q_{out} และแทนค่า $A_c I_T$ ในส่วนของ Q_{in} จะแสดงดังสมการที่ 11

$$\eta_{coll} = \frac{A_c F_R [(\tau\alpha)_e I_T - U_L (T_{fi} - T_a)]}{A_c I_T} \quad \text{สมการที่ 11}$$

จัดรูปสมการที่ (11) ใหม่ จะได้สมการที่ (12) ดังนี้

$$\eta_{coll} = \frac{F_R [(\tau\alpha)_e I_T - U_L (T_{fi} - T_a)]}{I_T} = F_R (\tau\alpha)_e - \frac{F_R U_L (T_{fi} - T_a)}{I_T} \quad \text{สมการที่ 12}$$

เมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่าง η_{coll} และ $(T_{fi} - T_a)/I_T$ มาพล็อตกราฟจะได้เป็นสมการเส้นตรง โดยมีค่าความชันของกราฟเท่ากับ $-F_R U_L$ และค่าจุดตัดบนแกนประสิทธิภาพคือค่า $F_R (\tau\alpha)_e$ ซึ่งค่า $F_R (\tau\alpha)_e$ และค่า $-F_R U_L$ สามารถหาได้จากการทดลองและนำมาพล็อตกราฟ แสดงดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่าง η_{coll} และ $(T_{fi} - T_a)/I_T$

$-F_R U_L$ จะแสดงค่าการสูญเสียความร้อน หากมีค่าสูงแสดงว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีการป้องกันการสูญเสียความร้อนได้ไม่ดีพอ และจุดตัดบนแกนประสิทธิภาพคือค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ จะแสดงสมรรถนะเชิงแสงของตัวรับรังสีอาทิตย์ หากมีค่าสูงแสดงว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีความสามารถในการส่องผ่านและดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่ดี

3.6 ระดับค่ารังสีอาทิตย์วิกฤติ

ระดับค่ารังสีอาทิตย์วิกฤติ (Critical radiation level) คือ ค่ารังสีอาทิตย์ (I_T) ที่ทำให้เทอมความสามารถที่ตัวรับรังสีอาทิตย์ดูดกลืนความร้อนได้เท่ากับเทอมการสูญเสียความร้อน แสดงดังสมการที่ 13

$$I_{TC} = \frac{F_R U_L (T_{fi} - T_a)}{F_R (\tau\alpha)_e} \quad \text{สมการที่ 13}$$

3.7 สมดุลพลังงานถังเก็บน้ำร้อน

กรณีไม่มีการนำน้ำร้อนไปใช้งาน และไม่มีการสูญเสียความร้อนจากถังเก็บน้ำร้อน การสมดุลพลังงานที่ถังเก็บน้ำร้อน แสดงดังสมการที่ 14

อัตราการพลังงานความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ = อัตราพลังงานความร้อนในถังเก็บน้ำร้อน

$$A_c [F_R(\tau\alpha)_e I_T - F_R U_L (T_{fi} - T_a)] = (MC_p)_s \frac{(T_s^{t+\Delta t} - T_s)}{\Delta t} \quad \text{สมการที่ 14}$$

ปริมาณความร้อนของถังเก็บน้ำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ แสดงดังสมการ
ที่ 15

$$Q_{\text{Storage}} = (MC_p)_s \frac{T_s^{t+\Delta t} - T_s}{\Delta t} \quad \text{สมการที่ 15}$$

สามารถหาอุณหภูมิของของไหลหรือน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนเมื่อเวลาเปลี่ยนไป แสดงดัง
สมการที่ 16

$$T_s^{t+\Delta t} = T_s + \frac{A_c \Delta t}{(MC_p)_s} [F_R(\tau\alpha)_e I_T - F_R U_L (T_{fi} - T_a)] \quad \text{สมการที่ 16}$$

| | | |
|-----|----------------------|--|
| โดย | Q_{Storage} | คือ ความร้อนของถังเก็บน้ำร้อน (W) |
| | M | คือ มวลของน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อน (kg) |
| | C_p | คือ ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อน (J/kg·°C) |
| | $T_s^{t+\Delta t}$ | คือ อุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนเมื่อเวลาเปลี่ยนไป (°C) |
| | T_s | คือ อุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อน (°C) |
| | Δt | คือ ผลต่างเวลาที่ใช้ในการคำนวณ (s) |

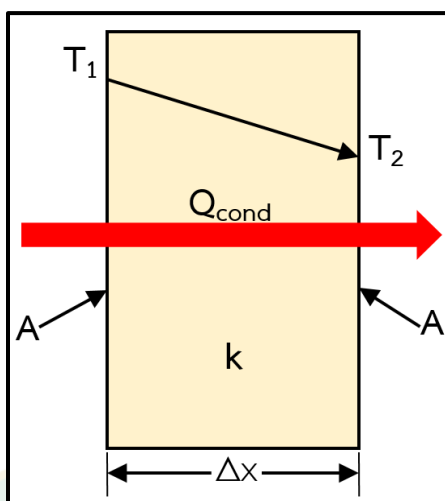
4. การถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) แบ่งออกเป็น 3 รูปแบบด้วยกัน คือการนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) (ผ่องศรี, 2554)

4.1 การนำความร้อน

การนำความร้อน (Heat conduction) คือ การถ่ายโอนพลังงานจากอนุภาคของสารที่มีพลังงานมากกว่าไปยังอนุภาคที่อยู่ใกล้เคียงซึ่งมีพลังงานน้อยกว่า เนื่องจากผลของอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคต่างๆ อัตราการนำความร้อนผ่านตัวกลางขึ้นกับรูปทรงเรขาคณิต ความหนา ชนิดของวัสดุของตัวกลาง และความแตกต่างของอุณหภูมิตามขวางของตัวกลาง

การนำความร้อนผ่านวัตถุที่มีความหนา ($\Delta x = L$) และพื้นที่หน้าตัดตั้งฉากกับทิศทางการถ่ายโอนความร้อน (A) แสดงดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 การนำความร้อนผ่านวัตถุที่มีความหนา Δx และพื้นที่ A
ที่มา: (นัฐพร, 2560)

อัตราการถ่ายเทจากการนำความร้อน สามารถหาได้โดยอาศัยกฎของฟูเรียร์ (Fourier law of heat conduction) แสดงดังสมการที่ 17

$$Q_{\text{cond}} = -kA \frac{dT}{dx} = -kA \frac{T_2 - T_1}{L} \quad \text{สมการที่ 17}$$

การนำความร้อนของอุณหภูมิตลงและเกรเดียนต์อุณหภูมิจึงมีค่าเป็นลบ ขณะที่ความหนาเพิ่มขึ้น เพราะฉะนั้นจึงเติมเครื่องหมายลบ (-) ไว้หน้าเทอมทางขวาของสมการที่ (17) เพื่อให้การถ่ายโอนความร้อนในทิศทาง x มีปริมาณเป็นบวก จัดรูปสมการที่ (17) ใหม่จะได้สมการที่ (18) ดังนี้

$$Q_{\text{cond}} = kA \frac{T_1 - T_2}{L} \quad \text{สมการที่ 18}$$

| | | |
|-----|-------------------|---|
| โดย | Q_{cond} | คือ อัตราการนำความร้อน (W) |
| | k | คือ ค่าการนำความร้อน ($\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$) |
| | A | คือ พื้นที่หน้าตัด (m^2) |
| | T_1 | คือ อุณหภูมิจุดที่ 1 ($^{\circ}\text{C}$) |
| | T_2 | คือ อุณหภูมิจุดที่ 2 ($^{\circ}\text{C}$) |
| | L | คือ ความยาว (m) |

ค่าการนำความร้อน เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของวัตถุ โดยทั่วไปแล้วค่าการนำความร้อนของวัตถุจะแปรผันตามอุณหภูมิ แต่การนำไปใช้งานในด้านปฏิบัตินั้นส่วนใหญ่แล้วจะใช้ค่าการนำความร้อนคงที่ ซึ่งหาได้จากอุณหภูมิจำเพาะ และสามารถเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของสารต่างๆ โดยการเปรียบเทียบจากค่า k ของสารเหล่านั้น โดยสารที่มีค่า k สูงจะเรียกว่า สารตัวนำ (Conductor) และสารที่มีค่า k ต่ำจะเรียกว่า ฉนวน (Insulator) จัดรูปสมการที่ (18) ใหม่จะได้สมการที่ (19) ดังนี้

$$k = Q_{\text{cond}} \frac{L}{A(T_1 - T_2)} \quad \text{สมการที่ 19}$$

4.2 การพาความร้อนแบบบังคับสำหรับการไหลภายในท่อกรณีอุณหภูมิจำเพาะที่มีค่าคงที่

ท่อหน้าตัดวงกลมนิยมนำมาใช้ส่งของเหลว เพราะหน้าตัดวงกลมสามารถทนต่อความแตกต่างของความดันระหว่างข้างในและข้างนอกท่อได้มาก โดยไม่ก่อให้เกิดการบิดเบี้ยว

สมบัติของของไหลหาได้จาก อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลทั้งก้อน (Bulk mean fluid temperature) แสดงดังสมการที่ 20

$$T_{\text{aver,water}} = \frac{(T_{\text{in}} + T_{\text{out}})}{2} \quad \text{สมการที่ 20}$$

โดย $T_{\text{aver,water}}$ คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลทั้งก้อน ($^{\circ}\text{C}$)
 T_{in} คือ อุณหภูมิของไหลทางเข้าท่อ ($^{\circ}\text{C}$)
 T_{out} คือ อุณหภูมิของไหลทางออกท่อ ($^{\circ}\text{C}$)

เมื่อให้ของไหลไหลเต็มท่อและท่อมีผนังที่บางมาก ส่งผลทำให้ผิวท่อมีอุณหภูมิคงที่ ดังนั้นสามารถหาอุณหภูมิของของไหลตรงทางออกท่อ (Mean fluid temperature at the tube exit, T_{out}) ในรูปแบบของเอ็กซ์โพเนนเชียล และถูกนำมาใช้ในการออกแบบหาความยาวของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนในระบบแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อนำน้ำร้อนไปฆ่าเชื้อในวัสดุปลูก แสดงดังสมการที่ 21

$$T_{\text{out}} = T_{\text{surface,Tube}} - (T_{\text{surface,Tube}} - T_{\text{in}}) \exp \left[-\frac{\pi D_{\text{Tube,in}} L}{\dot{m} C_p} h \right]$$

สมการที่ 21

| | | |
|-----|---------------------------|--|
| โดย | $T_{\text{surface,Tube}}$ | คือ อุณหภูมิผิวของท่อ ($^{\circ}\text{C}$) |
| | $D_{\text{Tube,in}}$ | คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (m) |
| | L | คือ ความยาวท่อ (m) |
| | h | คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนการพาความร้อน ($\text{W}/\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$) |
| | \dot{m} | คือ อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s) |
| | C_p | คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของสารทำงาน ($\text{J}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$) |

4.2.1 เลขเรย์โนลด์

การหาอัตราการถ่ายโอนการพาความร้อนถูกบังคับในท่อ จำเป็นต้องทราบเลขเรย์โนลด์ที่เป็นตัวแปรไร้มิติ ซึ่งบ่งบอกลักษณะการไหล คือ เป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) เมื่อ $Re < 2,300$ เป็นการไหลแบบชั่วคราว (Transient flow) เมื่อมีค่าอยู่ในช่วง $2,300 < Re < 4,000$ และเป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) เมื่อ $Re > 4,300$ แสดงดังสมการที่ 22

$$Re = \frac{GD_{\text{Tube,in}}}{\mu_{\text{liquid}}}$$

สมการที่ 22

ซึ่งความเร็วฟลักซ์เชิงมวล (G) แสดงดังสมการที่ 23

$$G = \frac{\dot{m}}{A_{\text{Tube}}}$$

สมการที่ 23

| | | |
|-----|-----------------------|---|
| โดย | Re | คือ เลขเรย์โนลด์ |
| | G | คือ ความเร็วฟลักซ์เชิงมวล ($\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{s}$) |
| | μ_{liquid} | คือ ค่าความหนืดเชิงพลศาสตร์ ($\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$) |
| | \dot{m} | คือ อัตราการไหลของน้ำในท่อ (kg/s) |
| | A_{Tube} | คือ พื้นที่หน้าตัดท่อ (m^2) |

4.2.2. เลขนัสเซิลท์ของการไหลปั่นป่วนในท่อ

เลขนัสเซิลท์ของการไหลปั่นป่วนในท่อ ที่เป็นตัวแปรไร้มิติ เริ่มต้นจากต้องทราบก่อนว่า สารทำงานหรือของไหลที่ไหลในท่อมักจะมีการไหลแบบปั่นป่วน จากเลขเรย์โนลด์ คือ $Re > 4,300$ ความสัมพันธ์เลขนัสเซิลท์เฉลี่ยของการไหลปั่นป่วนในท่อหน้าตัดวงกลม บริเวณโปรไฟล์ความเร็วกรณีสถิตที่มีค่าคงที่ แสดงดังสมการที่ 24

$$Nu = \frac{hD_{\text{Tube,in}}}{k_{\text{water}}} \quad \text{สมการที่ 24}$$

จัดรูปสมการที่ (24) ใหม่จะได้สมการที่ (25) ดังนี้

$$h = \frac{Nu k_{\text{water}}}{D_{\text{Tube,in}}} \quad \text{สมการที่ 25}$$

ซึ่งเลขนัสเซิลท์ของการไหลปั่นป่วนในท่อ เรียกว่าสมการโคลเบิร์น (Colburn equation) แสดงดังสมการที่ 26

$$Nu = 0.023Re^{0.8}Pr^{0.4} \quad \text{สมการที่ 26}$$

แทนค่าสมการ (26) ในสมการที่ (25) จะได้สมการที่ (27) ดังนี้

$$h = \frac{0.023Re^{0.8}Pr^{0.4}k_{\text{water}}}{D_{\text{Tube,in}}} \quad \text{สมการที่ 27}$$

โดย Nu คือ เลขนัสเซิลท์

Pr คือ เลขพรันด์เทิล เป็นตัวแปรไร้มิติบอกความสามารถของของไหล ในการส่งผ่านโมเมนตัมในของไหล เมื่อเปรียบเทียบกับ การส่งผ่านความร้อนในของไหล

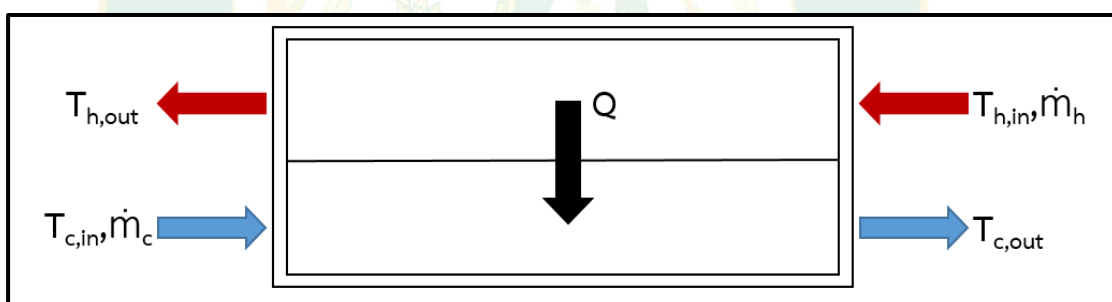
k_{water} คือ ค่าสภาพการนำความร้อนของน้ำ ($W/m \cdot ^\circ C$)

4.3 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) เป็นอุปกรณ์ที่ทำการให้และรับความร้อนระหว่างของไหลอุณหภูมิสูง กับของไหลอุณหภูมิต่ำ ซึ่งมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันและไหลอย่างต่อเนื่อง อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถแบ่งออกตามโครงสร้าง เช่น อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบผนังกัน อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบสัมผัสโดยตรง เป็นต้น

4.3.1 การถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลสองชนิดที่มีความแตกต่างกันของอุณหภูมิ และมีกระบวนการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน คือ ของไหลกระแสนอนอุณหภูมิสูง ($T_{h,in}$) มีอัตราการไหลกระแสนอนเชิงมวล (\dot{m}_h) ไหลเข้าสู่ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อถ่ายเทความร้อน (Q) ให้กับของไหลกระแสนอนอุณหภูมิต่ำ ($T_{c,in}$) ที่มีอัตราการไหลกระแสนอนเชิงมวล (\dot{m}_c) ส่งผลให้อุณหภูมิของของไหลกระแสนอนลดลง ($T_{h,out}$) และในขณะเดียวกันอุณหภูมิของของไหลกระแสนอนมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ($T_{c,out}$) แสดงดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 การถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

ที่มา: (นัฐพร, 2560)

4.3.2 อัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

การคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนของการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน นิยมพิจารณาการถ่ายเทความร้อนรวมกันในรูปของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ซึ่งถูกนิยามขึ้นเพื่อใช้ในการหาอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แสดงดังสมการที่ 28

$$Q_{Hex} = UA\Delta T_{LMTD}$$

สมการที่ 28

ซึ่งผลต่างอุณหภูมิของของไหลชนิดที่ 1 และของไหลชนิดที่ 2 หรือผลต่างของอุณหภูมิของของไหลกระแสน้ำร้อนและของไหลกระแสน้ำเย็น เรียกว่า ผลต่างอุณหภูมิเชิงล็อก (Log mean temperature difference , ΔT_{LMTD}) แสดงดังสมการที่ 29

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln\left[\frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}\right]} \quad \text{สมการที่ 29}$$

| | | |
|-----|-------------------|--|
| โดย | Q_{Hex} | คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนจากของไหลชนิดที่ 1 ไปสู่ของไหลชนิดที่ 2 (W) |
| | U | คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) |
| | A | คือ พื้นที่ผิวการถ่ายเทความร้อนรวม (m^2) |
| | ΔT_{LMTD} | คือ ผลต่างอุณหภูมิของของไหลชนิดที่ 1 และของไหลชนิดที่ 2 ($^\circ C$) |
| | ΔT_{max} | คือ ผลต่างของอุณหภูมิสูงสุด หรือผลต่างของอุณหภูมิของของไหลกระแสน้ำร้อนขาเข้า และของไหลกระแสน้ำเย็นขาออก ($^\circ C$) |
| | ΔT_{min} | คือ ผลต่างของอุณหภูมิต่ำสุด หรือผลต่างของอุณหภูมิของของไหลกระแสน้ำร้อนขาออก และของไหลกระแสน้ำเย็นขาเข้า ($^\circ C$) |

4.3.3 ประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

ประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน กับปริมาณความร้อนจากแหล่งความร้อน ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นความร้อนที่ได้จากน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ รวมกับปริมาณความร้อนที่ได้รับจากฮีตเตอร์ที่มีการใช้งานเป็นแหล่งความร้อนเสริมเพื่อให้ได้อุณหภูมิน้ำตามที่กำหนดไว้สำหรับการทดสอบ แสดงดังสมการที่ 30

$$\eta_{\text{Heat exchanger}} = \frac{\text{output}}{\text{input}} = \left[\frac{Q_{Hex}}{Q_{Storage} + Q_{Heater}} \right] \times 100 \quad \text{สมการที่ 30}$$

ปริมาณความร้อนที่ได้รับจากฮีตเตอร์ แสดงดังสมการที่ 31

$$Q_{Heater} = (Pt) \times 3.6 \quad \text{สมการที่ 31}$$

กำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์ แสดงดังสมการที่ 32

$$P = IV$$

สมการที่ 32

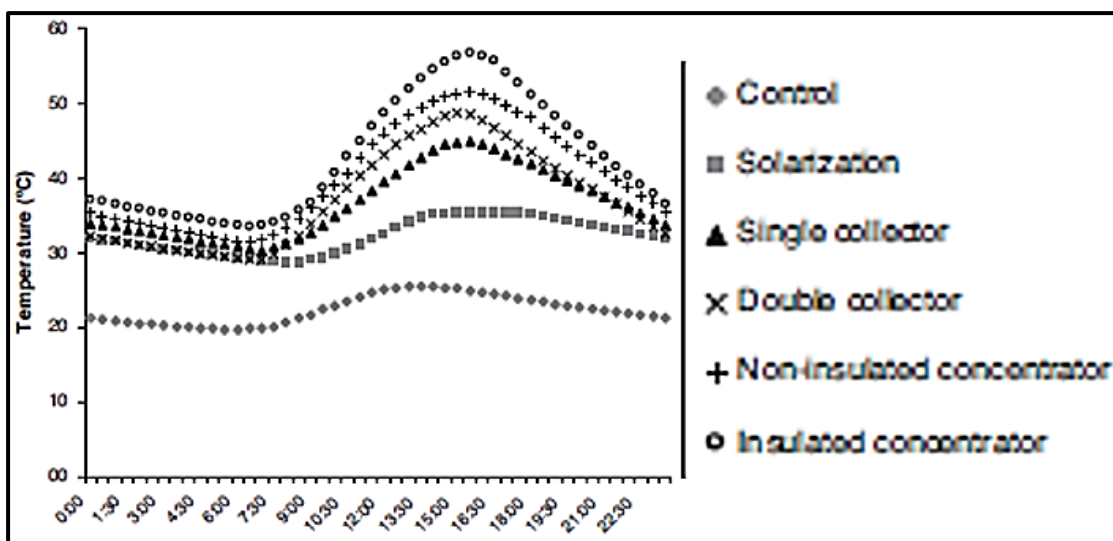
| | | |
|--------|---------------------|---|
| โดยที่ | Q_{Heater} | คือ ความร้อนจากฮีตเตอร์ (MJ) |
| | I | คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอุปกรณ์ทำความร้อน (A) |
| | P | คือ กำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์ (kW) |
| | t | คือ เวลาที่ฮีตเตอร์ทำงาน (hr) |
| | V | คือ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมอุปกรณ์ทำความร้อน (V) |

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการฆ่าเชื้อในดิน การประยุกต์การฆ่าเชื้อในดินด้วยระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ และการวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนความร้อนในดิน สรุปได้ดังนี้

ชิตชนก แสนศรี (2554) ได้ทำการศึกษากระบวนการทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์เพื่อใช้ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ในดินด้วย โดยการประยุกต์ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลาที่มีท่อดูดอากาศเป็นตัวรับรังสีจากการศึกษาพบว่า สามารถเพิ่มอุณหภูมิของน้ำร้อนในระบบมีค่าเท่ากับ 48.8°C ซึ่งน้ำร้อนที่ได้สามารถนำมาใช้ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ *Ralstonia solanacearum* ได้ที่ 45°C (ชิตชนก และคณะ, 2554)

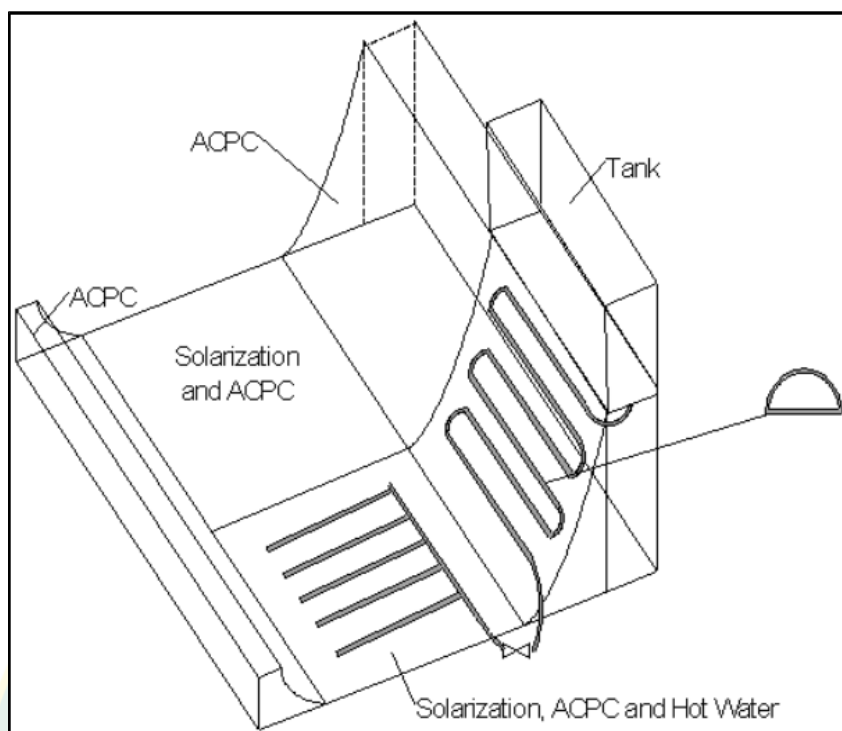
C. Pérez-de-los-Reyes (2009) ได้ทำการศึกษาการใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ (Flat plate) ร่วมกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดรางพาราโบลา (Parabolic) มาทำการถ่ายเทความร้อนให้กับดิน เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในดินภายในโรงเรือน โดยการฝังท่อทำน้ำร้อนไว้ในดิน จากการศึกษาพบว่า สามารถเพิ่มอุณหภูมิของดินได้สูงถึงประมาณเท่ากับ $50-60^{\circ}\text{C}$ และเมื่อเทียบกับดินที่มีการอบดินด้วยแสงอาทิตย์โดยการคลุมหน้าดินด้วยพลาสติกเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการทำงานร่วมกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์พบว่า มีการถ่ายเทความร้อนให้กับดินได้ที่อุณหภูมิเท่ากับ 40°C แสดงดังภาพที่ 15 (C. Pérez-de-los-Reyes et al., 2009)



ภาพที่ 15 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของการให้ความร้อนแก่ดินด้วยวิธีต่างๆ

ที่มา: (C. Pérez-de-los-Reyes et al., 2009)

P. Thanatp. (2009) ได้ทำการศึกษาการลดระยะเวลาในการฆ่าเชื้อในดินด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้พลาสติกคลุมดินให้สั้นลงและมีประสิทธิภาพสูงมากขึ้น โดยการพัฒนาตัวรับรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลาแบบไม่สมมาตร (ACPC) ให้สามารถผลิตน้ำร้อนควบคู่ไปด้วย แสดงดังภาพที่ 16 เพื่อที่จะนำมาใช้งานร่วมกับกระบวนการการฆ่าเชื้อในดินด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการใช้พลาสติกคลุมดินจากการศึกษาพบว่า สามารถลดระยะเวลาในการฆ่าเชื้อในดินด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้พลาสติกคลุมดินจากเท่ากับ 4-6 week เหลือเพียงเท่ากับ 4 hr ซึ่งสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในดินได้ลึกเพิ่มมากขึ้น (มากกว่า 50 cm) ได้ในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งการทำ Solarization หรือการใช้ Solarization and ACPC ไม่สามารถทำได้ที่ระดับความลึกมากๆ หรือถ้าได้ก็ต้องใช้เวลานาน แสดงปริมาณเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ที่บริเวณทดสอบ ณ เวลาต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2 (Phitthayarachasak et al., 2009)



ภาพที่ 16 การติดตั้งท่อทองแดงบริเวณด้านหลังของตัวรับรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลาแบบไม่สมมาตร (ACPC)

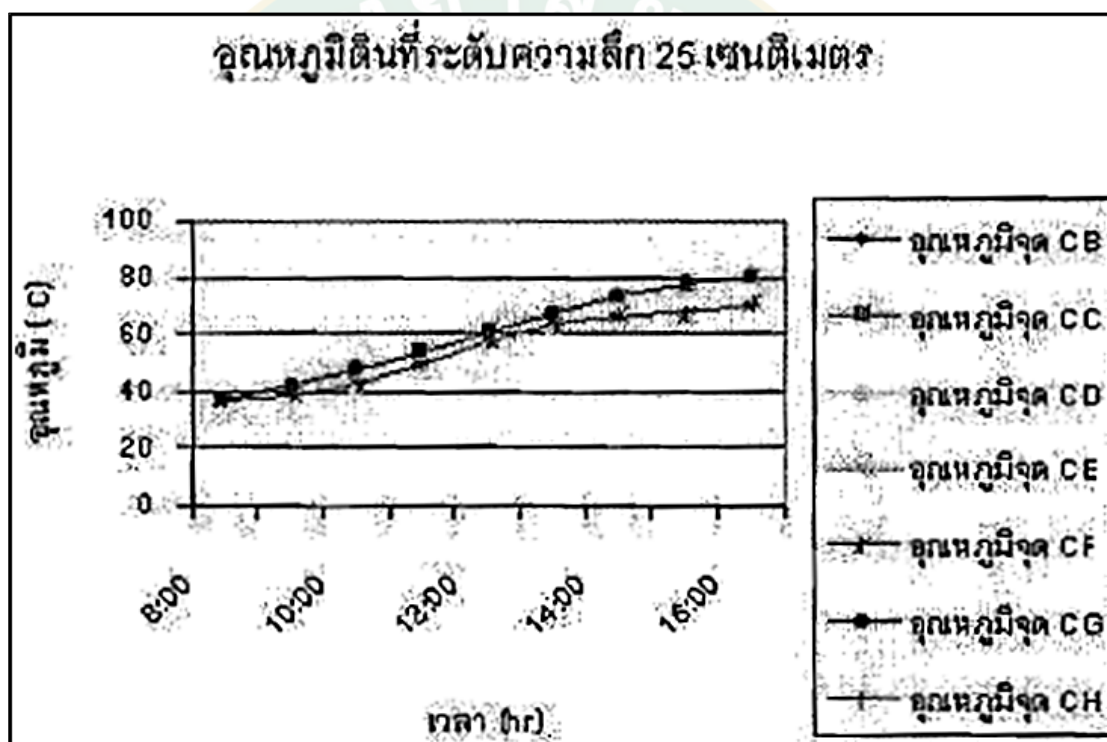
ที่มา: (Phitthayarachasak et al., 2009)

ตารางที่ 2 ปริมาณเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ที่บริเวณทดสอบ ณ เวลาต่างๆ

| ระยะเวลา (hr) | ปริมาณเชื้อ <i>Ralstonia solanacearum</i> (%) | | | | | |
|------------------|---|-----------------------|----------------------------------|-------------------|-----------------------|----------------------------------|
| | ผิวดิน | | | ระดับความลึก 5 cm | | |
| | Normal | Solarization and ACPC | Solarization, ACPC and hot water | Normal | Solarization and ACPC | Solarization, ACPC and hot water |
| 0 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 1 | 90.8 | 9.1 | 9.3 | 78.7 | 12.3 | 9.37 |
| 2 | 11.9 | 1.3×10^{-2} | 7.9×10^{-2} | 76.6 | 1.1×10^{-1} | 7.9×10^{-2} |
| 4 | 7.1 | 5.5×10^{-5} | 8.2×10^{-4} | 72.3 | 9.2×10^{-2} | 8.2×10^{-4} |

ที่มา: (Phitthayarachasak et al., 2009)

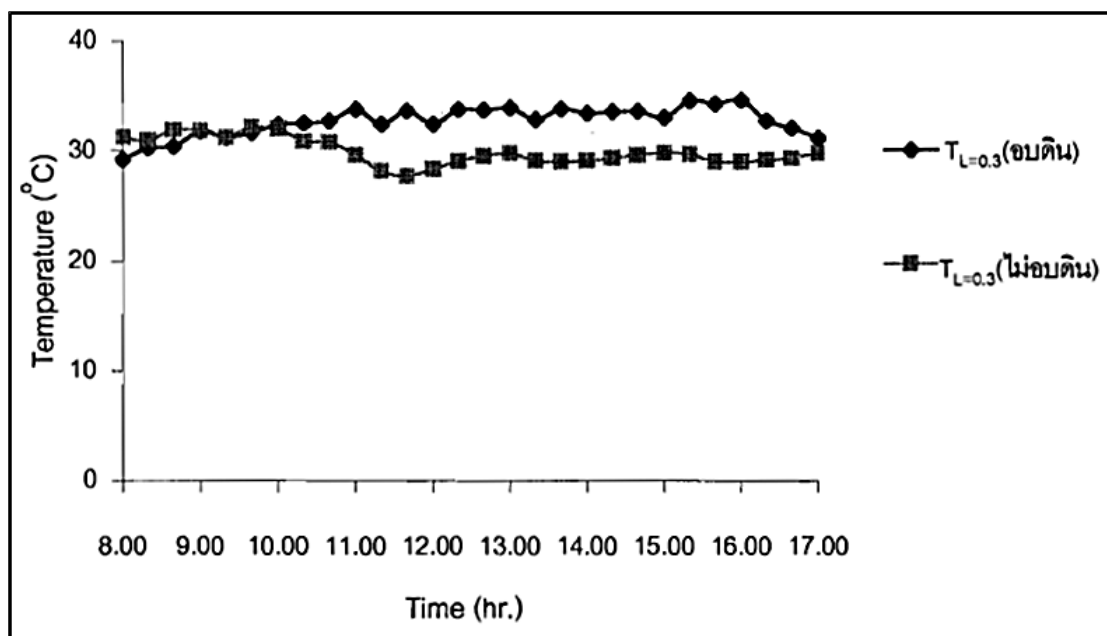
กุสุมณ สมัครคำ (2547) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำร้อนกับดินเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยการนำแผงรับรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลาเป็นอุปกรณ์ทำน้ำร้อนแล้วส่งไปถ่ายโอนความร้อนให้กับดินโดยการนำอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 2 แบบ คือ แบบท่อเดี่ยว แบบท่อขนานสองท่อ และแบบท่อขนานสี่ท่อ ฝังลงในแปลงดินขนาดกว้าง 1 m และยาว 2 m โดยทำการฝังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ความลึก 25 cm และคลุมดินด้วยแผ่นพลาสติกใสจากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิดินจะเพิ่มขึ้นเท่ากับ 50°C ในช่วงเวลา 12:00 น. และจะสูงขึ้นเท่ากับ 75°C ในเวลา 16:00 น. ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 17 (กุสุมณ, 2547)



ภาพที่ 17 อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 25 cm

ที่มา: (กุสุมณ, 2547)

บัณฑิต นุชนิยม (2544) ได้ทำการศึกษาอุณหภูมิของดินที่ระดับความลึกที่ 0 cm 10 cm 20 cm 30 cm และ 50 cm ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิในดินของระบบที่ไม่มีการคลุมดิน กับระบบที่มีการคลุมดินด้วยพลาสติกใสขนาดกว้าง 1 m ยาว 1 m และสูง 0.3 m ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า ระบบที่มีการคลุมดินจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าระบบที่ไม่มีการคลุมดินประมาณเท่ากับ 4-6°C แสดงดังภาพที่ 18 (บัณฑิต, 2544)



ภาพที่ 18 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของดินที่ได้จากการวัดที่ความลึก 0.3 m ของบริเวณที่คลุมดิน และไม่คลุมดินที่เวลา 8:00-17:00 น.

ที่มา: (บัณฑิต, 2544)

ศศิวิมล กนกกัณชพงษ์ (2553) ได้ศึกษาการหาระบบฆ่าเชื้อโรคในดินที่เหมาะสมโดยใช้โซลล่าเซลล์ และรวบรวมแสงแบบพาราโบลา โดยได้ทำการออกแบบและสร้างตัวรวมรังสีรูปประกอบพาราโบลา (CPC) ที่มีเป้ารับรังสีเป็นท่อแก้วสุญญากาศในการผลิตน้ำร้อน โดยศึกษาประสิทธิภาพตัวรวมรังสีและนำน้ำร้อนที่ได้ไปหยดลงบนผิวดินเพื่อยับยั้งเชื้อ *Ralstonia solanacearum* โดยทำการวัดอุณหภูมิของดินที่ระดับความลึกจากผิวดินเท่ากับ 50 cm โดยเริ่มทำการหยดน้ำร้อนเมื่อเวลา 12:00-17:00 น. กำหนดอัตราการหยดน้ำร้อนเท่ากับ 240 Drop/min จากการศึกษพบว่า อุณหภูมิที่ผิวดิน และที่ระดับความลึกเท่ากับ 10 cm มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเท่ากับ 58.5°C และ 46.6°C ตามลำดับ ส่วนอุณหภูมิที่ระดับความลึกเท่ากับ 20-50 cm มีอุณหภูมิสูงขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากการถ่ายโอนความร้อนไปไม่ถึงระดับความลึกดังกล่าว เมื่อทดสอบยับยั้งเชื้อพบว่า ระบบมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ในระยะเวลาอันสั้น (ศศิวิมล, 2553)

สหัสยา ทองสาร (2553) ได้ทำการศึกษาการออกแบบชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิคส์ จากการทดสอบเบื้องต้นพบว่า อุณหภูมิสูงสุดของสารละลายธาตุอาหารในช่วงเวลากลางวันมีค่าประมาณเท่ากับ 40°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงเกินไปไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช (ไม่ควรเกิน 35°C) มีผลทำให้การละลายตัวออกซิเจนในสารละลายธาตุอาหารลดลงและไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช อีกทั้งอุณหภูมิสูงจะเป็นสภาวะที่ทำให้พืชเกิดโรคได้ง่าย เมื่อทำการออกแบบชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินจากการศึกษาพบว่า ต้องใช้ท่อทองแดงที่มีขนาดเส้น

ผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 3/8 inch ยาวทั้งหมด 64.8 m โดยวางท่อขนานกันทั้งหมด 10 ท่อ ระยะห่างระหว่างท่อเท่ากับ 6.3 cm และควบคุมอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารเท่ากับ 2.4 L/min ซึ่งผลจากการทดสอบประสิทธิภาพของชุดระบบความร้อนใต้ดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิคส์พบว่า สามารถระบายความร้อนที่สะสมอยู่ในสารละลายธาตุอาหารได้ร้อยละ 70 ทั้งนี้เพื่อให้ได้อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสารละลายธาตุอาหารที่มีอุณหภูมิเท่ากับ 28-30°C (สหัสยา และคณะ, 2553)

ณัฐพงษ์ แกมทับทิม (2562) ได้ศึกษาการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในดิน ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคเหี่ยวในพืช เชื่อดังกล่าวจะสามารถเจริญเติบโตและเข้าทำลายพืชได้ดีในอุณหภูมิเท่ากับ 30-35°C แต่ไม่สามารถมีชีวิตรอดอยู่ได้ที่อุณหภูมิเท่ากับ 37-45°C โดยการศึกษาใช้เชื้อ *Ralstonia solanacearum* จำนวน 4.7×10^7 colony forming unit/g soil ทำการปล่อยน้ำร้อนจากท่อใต้ดินแนวตั้ง 3 รู จากการศึกษาพบว่า สามารถกระจายความร้อนไปยังชั้นดินที่ระยะห่าง 5-10 cm ดินมีความลึก 40 cm เมื่อปล่อยน้ำร้อนผ่านไปด้วยระยะเวลาเท่ากับ 240 min ผลการนับเชื้อหลังจากการทดลองพบว่า สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตได้ทั้งหมด (ณัฐพงษ์ และศิริชัย, 2562)

จิรศักดิ์ คงเกียรติขจร (ม.ป.ป.) ได้ศึกษาการอบดินด้วยแสงอาทิตย์ร่วมกับการใช้ตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตรต่อการเจริญของเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในดิน จากการศึกษาพบว่า สามารถเพิ่มอุณหภูมิดินในระยะเวลาเท่ากับ 4 hr โดยมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นประมาณเท่ากับ 50°C ที่ผิวดิน และเท่ากับ 40°C ที่ระดับความลึกของดินเท่ากับ 5 cm ซึ่งมีผลต่อการลดปริมาณเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในดิน (จิรศักดิ์ และคณะ, ม.ป.ป)

B. Mansoori (1996) ได้ทำการศึกษาการควบคุมเชื้อโรคในดินด้วยความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยแบ่งการทดสอบเป็น 2 กรณีศึกษาคือ ดินที่ไม่มีการคลุมดิน และดินที่ทำการคลุมดินด้วยพลาสติก ทำการทดสอบทั้งสิ้น 60 วัน จากการศึกษาพบว่า ดินที่ทำการคลุมดินด้วยพลาสติกสามารถลดจำนวนเชื้อโรคในดินลดลงเหลือ 17% 12% และ 10% หลังจากดินผ่านการอบด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเวลาเท่ากับ 30 วัน 45 วัน และ 60 วันตามลำดับ ซึ่งอุณหภูมิของดินที่ไม่มีการคลุมดิน และดินที่ทำการคลุมดินด้วยพลาสติกในระดับความลึกเท่ากับ 10 cm และ 20 cm ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 3 (Mansoori and Jalani, 1996)

ตารางที่ 3 อุณหภูมิของดินที่ไม่มีการคลุมดิน และดินที่ทำการคลุมดินด้วยพลาสติกในระดับความลึกเท่ากับ 10 cm และ 20 cm ตามลำดับ

| Days after treatment | Maximum soil temperature (°C) | | | |
|----------------------|-------------------------------|-----------|---------------|-----------|
| | 10 cm | | 25 cm | |
| | Non-solarized | Solarized | Non-solarized | Solarized |
| 6 | 25 | 40 | 26 | 41 |
| 12 | 31 | 42 | 26 | 42 |
| 18 | 28 | 45 | 27 | 46 |
| 24 | 33 | 48 | 30 | 47 |
| 30 | 31 | 47 | 30 | 48 |
| 36 | 32 | 45 | 32 | 46 |
| 42 | 31 | 46 | 32 | 47 |
| 48 | 32 | 45 | 33 | 46 |
| 54 | 30 | 40 | 31 | 41 |
| 60 | 29 | 40 | 30 | 40 |

ที่มา: (Mansoori and Jalani, 1996)

Jirasak Kongkiattikajorn (2007) ได้ศึกษาการเพิ่มผลผลิตมะเขือเทศโดยการให้ความร้อนเพื่อควบคุมเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในดิน โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิคงที่เท่ากับ 45°C เป็นเวลา 2 วัน หรืออุณหภูมิคงที่เท่ากับ 60°C เป็นเวลา 2 hr จากการศึกษาพบว่า การติดเชื้อในต้นอ่อนมะเขือเทศมีค่าที่ลดลงเท่ากับ 60-97% แสดงดังตารางที่ 4 (Kongkiattikajorn and Thepa, 2007)

ตารางที่ 4 จำนวนเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ที่ลดลงเมื่อให้ความร้อนแก่ดินที่อุณหภูมิคงที่เท่ากับ 45°C เป็นเวลา 2 วัน และอุณหภูมิคงที่ 60°C เป็นเวลา 2 hr

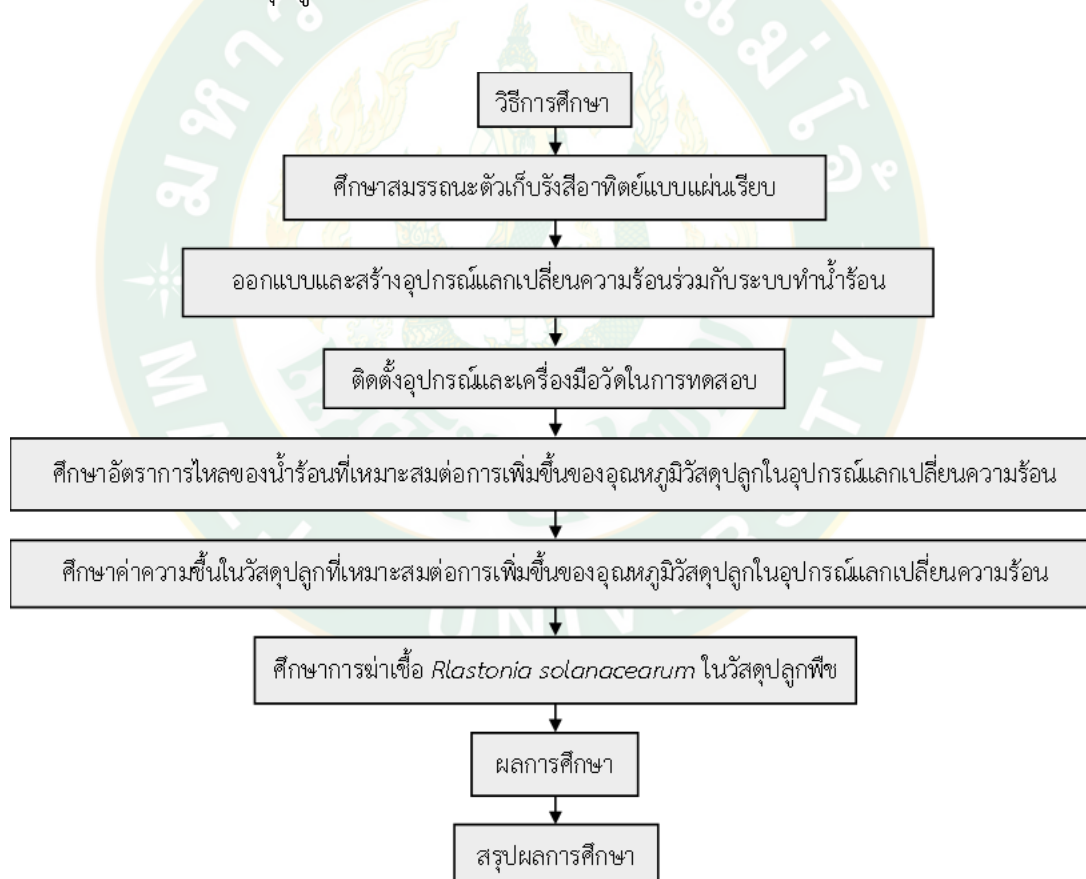
| Treatment | Incubation time | Cfu.g ⁻¹ of colonized soil |
|---------------------------------|-----------------|---------------------------------------|
| Control | - | 0 |
| 45°C | 0h | 2.4-7×10 ⁸ |
| | 12h | 3.7-8.5×10 ⁴ |
| | 24h | 3.7-5.2×10 ² |
| | 36h | 11-173 |
| | 48h | 0-146 |
| 60°C | 0 min | 2.4-7×10 ⁸ |
| | 30 min | 2.5-9.3×10 ⁴ |
| | 60 min | 2.3-5.9×10 ² |
| | 90 min | 20-215 |
| | 120 min | 0-115 |
| Control + <i>R.solanacearum</i> | - | 2.4-7×10 ⁸ |

ที่มา: (Kongkiattikajorn and Thepa, 2007)

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย การจัดเตรียมเครื่องมือวิจัย ได้แก่ ระบบทำน้ำร้อน พลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีการศึกษาสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่นำมาใช้ศึกษา การออกแบบและสร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จากนั้นทำการศึกษาระบบที่ได้ทำการออกแบบ ทั้งหมดใน 3 กรณี ได้แก่ การศึกษาอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ วัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน การศึกษาค่าความชื้นของวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการ เพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และการศึกษาการฆ่าเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในวัสดุปลูกพืช แสดงดังภาพที่ 19 โดยเนื้อหาแต่ละส่วนมีดังนี้



ภาพที่ 19 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

1.1 ลักษณะจำเพาะของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

1.1.1 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่มีพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ขนาด 2.4 m^2 มีลักษณะเป็นแผงโลหะประกอบด้วย ตัวดูดกลืนที่เป็นแผ่นเรียบรับแสงทำจากทองแดงซึ่งมีระบบท่อเชื่อมติดอยู่ด้านบนของแผ่นรับแสงและปิดด้วยกระจก บริเวณด้านใต้ของแผงและในส่วนขอบทั้งสี่ด้านจะถูกหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน เพื่อลดอัตราการสูญเสียพลังงานจากการนำความร้อน โดยทั่วไปตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบสามารถผลิตน้ำร้อนได้ในช่วงอุณหภูมิไม่เกิน 80°C แสดงดังภาพที่ 20



ภาพที่ 20 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ในการศึกษา

1.1.2 ถังเก็บน้ำร้อน

ถังน้ำร้อนขนาด 150 Liter ทำจากวัสดุที่เป็นสแตนเลสเพื่อป้องกันการเกิดสนิม โดยผิวด้านนอกของถังจะหุ้มด้วยฉนวนยางดำเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน ซึ่งถังน้ำร้อนจะทำหน้าที่ในการเก็บสะสมน้ำร้อนที่หมุนเวียนในระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในวัสดุปลูก แสดงดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 ถังเก็บน้ำร้อน

1.1.3 ฮีตเตอร์

ฮีตเตอร์ขนาด 2.99 kW เป็น Immersion heater มีลักษณะตัดเป็นรูปตัวยู ถูกติดตั้งอยู่ในถังเก็บน้ำร้อน ทำหน้าที่เป็นแหล่งความร้อนเสริมให้แก่น้ำในถังเก็บน้ำร้อนของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ แสดงดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 ฮีตเตอร์

1.1.4 ปั๊มน้ำ

ปั๊มน้ำ ยี่ห้อ SEAFLO รุ่น SFDP1-014-080-22 โดยเป็นปั๊มน้ำแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 V_{DC} และใช้กำลังไฟฟ้า 18 W ทำหน้าที่ในการบังคับการหมุนเวียนของน้ำร้อนในระบบทำน้ำร้อน

พลังงานแสงอาทิตย์ให้มีอัตราการไหลที่เหมาะสม ซึ่งปั้มน้ำสามารถให้อัตราการไหลสูงสุดเท่ากับ 5 L/min แสดงดังภาพที่ 23



ภาพที่ 23 ปั้มน้ำ

1.1.5 หม้อแปลงไฟฟ้า

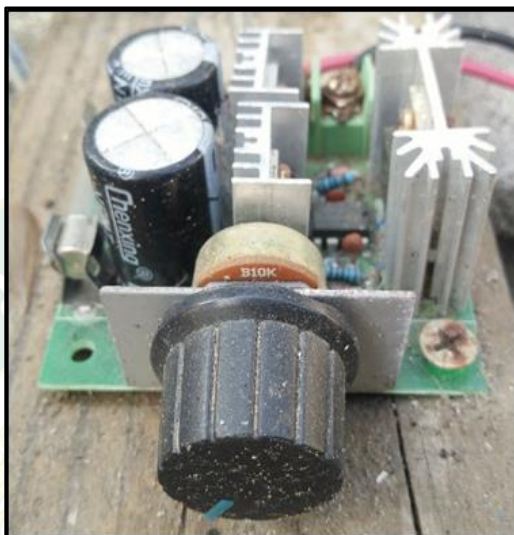
หม้อแปลงไฟฟ้า SANPU รุ่น PS120-W1V12 มีหน้าที่แปลงไฟฟ้าขนาด 100-220 V_{AC} 50/60 Hz เป็นไฟฟ้ากระแสตรง 12 V_{DC} 10 A ให้แก่ปั้มน้ำ แสดงดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 หม้อแปลงไฟฟ้า

1.1.6 โมดูลควบคุมความเร็วมอเตอร์

โมดูลควบคุมความเร็วมอเตอร์ PWM DC Motor speed controller ทำงานโดยการใช้ไฟฟ้ากระแสตรง 12-40 V_{DC} 10 A มีหน้าที่ในการใช้ปรับความเร็วมอเตอร์ของปั้มน้ำ แสดงดังภาพที่ 25



ภาพที่ 25 โมดูลควบคุมความเร็วมอเตอร์

1.1.7 Thermocouple Type K

สายเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิ สามารถทำการวัดอุณหภูมิได้ในช่วงระหว่าง -250-1,300°C มีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 0.75^{\circ}\text{C}$ แสดงดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 สายเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K

1.1.8 ท่อน้ำร้อน PPR

ท่อน้ำร้อน PPR ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 inch มีคุณสมบัติทนความร้อนได้สูงถึง 95°C ใช้สำหรับการลำเลียงน้ำร้อนในระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ไปยังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แสดงดังภาพที่ 27



ภาพที่ 27 ท่อน้ำร้อน PPR

1.2 การทดสอบสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ได้ทำการทดสอบเป็นตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ซึ่งได้ทำการทดสอบหาค่าสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ตามมาตรฐาน ASHRAE STANDARD 93-2003 ทำการจัดวางตัวเก็บรังสีอาทิตย์ให้หันหน้าไปทางทิศใต้ เอียงทำมุม 18° กับระนาบ กำหนดให้ค่ารังสีอาทิตย์ในช่วงทดสอบต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 790 W/m² และอยู่ในช่วงเวลา Solar noon หรือในช่วงระยะเวลา 11:00-13:00 น. ทำการควบคุมความเร็วลมผ่านหน้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ โดยการนำพัดลมมาตั้งเป่าผ่านหน้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในอัตราความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 2.2-4.5 m/s แสดงดังภาพที่ 28 (ก) โดยใช้อุปกรณ์วัดความเร็วลม (Model: Lutron AH 4223, Accuracy $\pm 2\%$) เป็นตัวตรวจวัดค่าความเร็วลมที่ต้องการ จากนั้นทำการป้อนน้ำร้อนเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ กำหนดอุณหภูมิน้ำร้อนตั้งแต่ 35-65°C และกำหนดอัตราการไหลของน้ำในระบบเท่ากับ 2.88 L/min ทำการติดตั้งสาย Thermocouple type K ในระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อทำการตรวจวัดอุณหภูมิ เมื่อระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state condition) จึงทำการเก็บบันทึกข้อมูลตำแหน่งจุดวัดต่างๆ ทุกๆ 2 min ได้แก่ อุณหภูมิน้ำเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แสดงดังภาพที่ 28 (ข) อุณหภูมิน้ำออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แสดงดังภาพที่ 28 (ค) และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

แสดงดังภาพที่ 28 (ง) โดยใช้ Temperature data logger (Model: Lutron TM 1947SD, Accuracy $\pm 0.4\%$) และวัดค่ารังสีอาทิตย์โดยใช้ Solar Power Meter (Model: Lutron SPM-1116SD) จากนั้นนำข้อมูลมาหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (η_{coll}) และ $(T_f - T_a)/I_T$ เป็นสมการเส้นตรงโดยมีค่าความชันของเส้นกราฟเท่ากับ $-F_R U_L$ และค่าตัดบนแกนประสิทธิภาพคือค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ และนำไปศึกษาหาค่าอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้ โดยทำการทดสอบระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ตั้งแต่วันที่ 10:00-16:00 น. ทำการเก็บบันทึกข้อมูลตำแหน่งจุดวัดต่างๆ ทุกๆ 5 min ได้แก่ อุณหภูมิน้ำเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิน้ำออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม แล้วนำค่าอุณหภูมิในถังเก็บน้ำร้อนที่ได้จากการทดลองจริงมาทำการเปรียบเทียบกับอุณหภูมิในถังเก็บน้ำร้อนที่เพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงเวลาซึ่งได้จากการคำนวณจากสมการที่ (16) เพื่อจะได้ทราบว่าค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ และ $-F_R U_L$ ที่ได้จากการทดสอบสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์นั้น จะส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำร้อนจากการทดลองจริงกับอุณหภูมิในถังเก็บน้ำร้อนที่เพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงเวลาที่ได้จากการคำนวณมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันหรือไม่



(ก) ควบคุมความเร็วลมผ่านหน้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์



(ข) จุดวัดอุณหภูมิน้ำเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์



(ค) จุดวัดอุณหภูมิน้ำออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์



(ง) จุดวัดอุณหภูมิแวลดล้อม

ภาพที่ 28 การทดสอบสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

2. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนร่วมกับระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับการฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกพืช เริ่มต้นโดยการเลือกขนาดของท่อทองแดง และกำหนดคุณสมบัติทางความร้อนของน้ำร้อน จากตัวอย่างข้อมูลของอุณหภูมิน้ำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในวันที่ท้องฟ้ามีเมฆมาก เพื่อต้องการออกแบบให้ระบบสามารถทำงานได้ในสภาวะอากาศที่แย่ที่สุด โดยนำมาเป็นข้อมูลในการคำนวณหาความยาวของท่อทองแดงที่จะนำมาเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งได้นำทฤษฎีการพาความร้อนแบบบังคับสำหรับการไหลในท่อกรณีที่อุณหภูมิผิวท่อมีค่าคงที่ มาทำการพิจารณาในการคำนวณหาความยาวของท่อทองแดง ซึ่งวิธีการคำนวณการหาความยาวของท่อทองแดง แสดงดังภาคผนวก (ก)

2.1 การออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

กำหนดขนาดของท่อทองแดง

- ท่อทองแดงชนิด Type M ขนาด 3/8 inch
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในท่อ ($D_{\text{Tube,in}}$) เท่ากับ 9.5 mm หรือ 0.0095 m
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกท่อ ($D_{\text{Tube,out}}$) เท่ากับ 10 mm หรือ 0.01 m
- พื้นที่หน้าตัดท่อทองแดง (A_{Tube}) เท่ากับ $7.08 \times 10^{-5} \text{ m}^2$

กำหนดสมบัติทางความร้อนสารทำงานด้านในท่อทองแดง

- ของไหลที่ไหลผ่านด้านในท่อคือ น้ำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์
- อุณหภูมิน้ำเข้าท่อทองแดง (T_{in}) เท่ากับ 55°C
- อุณหภูมิน้ำออกท่อทองแดง (T_{out}) เท่ากับ 30.5°C
- อุณหภูมิของไหลเฉลี่ยทั้งก้อน ($T_{aver,water}$) เท่ากับ 42.75°C
- ค่าการนำความร้อน (k_{water}) ของน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 42.75°C เท่ากับ $0.634 \text{ W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$
- ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (C_p) ของน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 42.75°C เท่ากับ $4,180 \text{ J/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$
- ค่าความหนืดเชิงพลศาสตร์ (μ_{liquid}) ของน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 42.75°C เท่ากับ $0.000625 \text{ kg/m}\cdot\text{s}$
- ค่าเลขพรีนดท์เทิล (Pr) ของน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 42.75°C เท่ากับ 4.12
- อัตราการไหลของน้ำร้อนท่อทองแดง (ก) เท่ากับ 0.04 L/s หรือ 2.4 L/min

ขั้นตอนที่ 1) ทำการคำนวณเลขเรย์โนลด์ ที่เป็นตัวแปรไร้มิติ บ่งบอกลักษณะการไหลของน้ำร้อนในท่อทองแดงคือ เป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) เมื่อ $Re < 2,300$ เป็นการไหลแบบเปลี่ยนแปลง (Transient flow) เมื่อมีค่าอยู่ในช่วง $2,300 < Re < 4,000$ และเป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) เมื่อ $Re > 4,300$ จากสมการที่ (22) และ (23) พบว่าเลขเรย์โนลด์มีค่าเท่ากับ $8,581.96$ ซึ่งแสดงว่าเป็นการไหลแบบปั่นป่วน

ขั้นตอนที่ 2) ทำการแทนสมการที่ (26) ซึ่งเป็นเลขนัสเซิลท์ของการไหลปั่นป่วนในท่อลงในสมการที่ (25) จะได้สมการที่ (27) ซึ่งเป็นสมการเพื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในท่อของน้ำร้อน โดยค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนการพาความร้อนในท่อมี่ค่าเท่ากับ $3,792.47 \text{ W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$

ขั้นตอนที่ 3) ทำการแทนค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนการพาความร้อนในท่อที่ได้จากการคำนวณในสมการที่ (27) ลงในสมการที่ (21) เพื่อคำนวณหาความยาวของท่อทองแดงพบว่า ท่อทองแดงสำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะต้องมีความยาวเท่ากับ 8.63 m ดังนั้นจึงได้ทำการออกแบบโดยวางท่อขนานกันทั้งหมด 12 ท่อ แต่ละท่อมี่ความยาวท่อละ 0.8 m ระยะห่างระหว่างผิวท่อเท่ากับ 6.3 cm

2.2 การสร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

เมื่อทำการออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเสร็จสิ้นแล้ว จึงได้ทำการสร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับการฆ่าเชื้อในวัสดุปลูก ในรูปแบบของกระบอกทดสอบทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ทำจากแผ่นเหล็กหนาเท่ากับ 1 mm ซึ่งกระบอกทดสอบสำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะมีขนาดกว้าง 35.5 cm ยาว 80 cm และสูง 30 cm แสดงดังภาพที่ 29 พร้อมทั้งทำการหุ้มฉนวนบริเวณกระบอกทดสอบ ท่อทองแดง และข้อต่อท่อต่างๆ แสดงดังภาพที่ 30

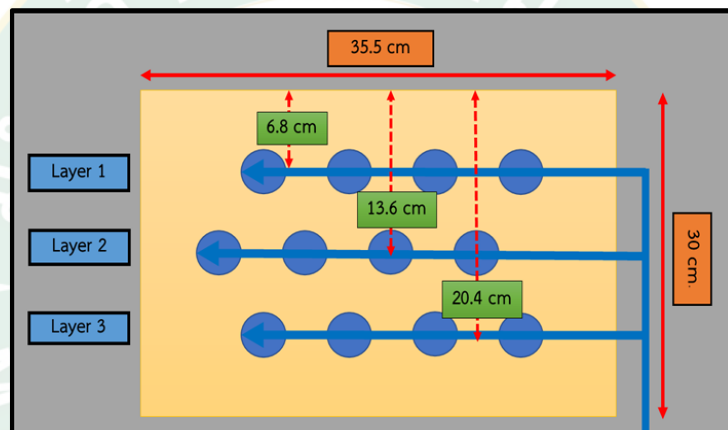


ภาพที่ 29 ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับการฆ่าเชื้อในวัสดุปลูก

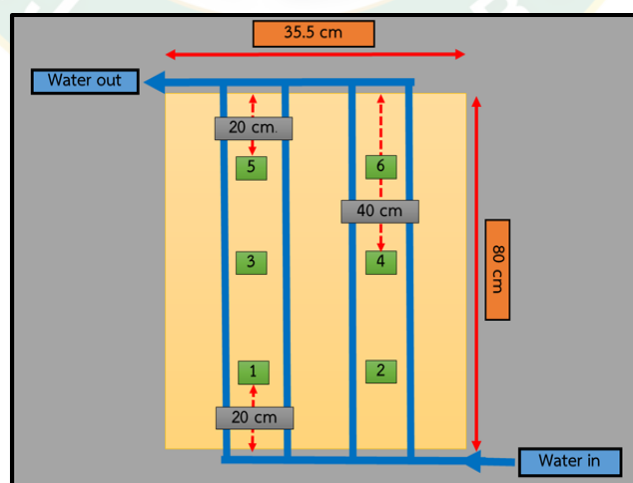


ภาพที่ 30 หุ้มฉนวนบริเวณอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

สำหรับจุดวัดอุณหภูมิในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้ทำการติดตั้งสาย Thermocouple type K บริเวณทางน้ำเข้ากระบอกทดสอบ ทางน้ำออกของกระบอกทดสอบ และบริเวณในกระบอกทดสอบเพื่อบันทึกการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในวัสดุปลูก ซึ่งบริเวณในกระบอกทดสอบจะทำการบันทึกอุณหภูมิวัสดุปลูกที่ 3 ระดับความลึกได้แก่ 6.8 cm 13.6 cm และ 20.4 cm ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 31 (ก) และในแต่ละระดับความลึกจะทำการบันทึกอุณหภูมิทั้งหมด 6 ตำแหน่ง โดยจุดวัดอุณหภูมิตำแหน่งที่ 1-2 และ 5-6 จะติดตั้งห่างจากขอบของกระบอกทดสอบตามความกว้างของกระบอกที่ 20 cm และจุดวัดอุณหภูมิตำแหน่งที่ 3-4 จะติดตั้งห่างจากขอบของกระบอกทดสอบตามความกว้างของกระบอกที่ 40 cm ดังนั้นในกระบอกทดสอบจะทำการเก็บบันทึกอุณหภูมิรวมทั้งสิ้น 18 จุด แสดงดังภาพที่ 31 (ข)



(ก) ด้าน Front view ของกระบอกทดสอบ

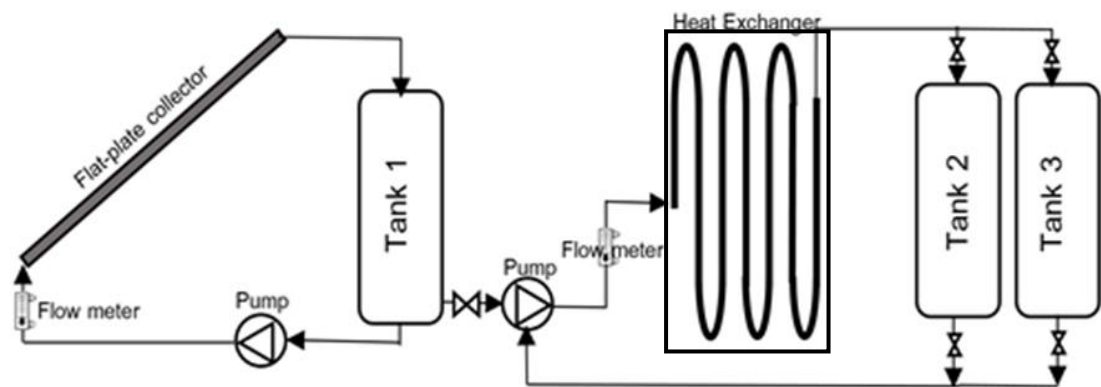


(ข) ด้าน Top view ของกระบอกทดสอบ

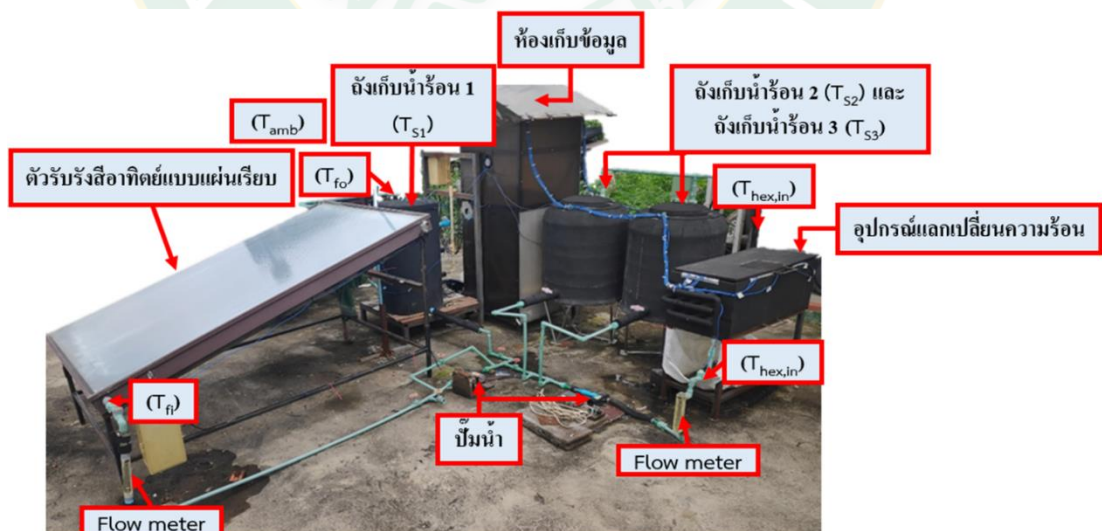
ภาพที่ 31 ตำแหน่งจุดติดตั้งสาย Thermocouple type K เพื่อทำการบันทึกอุณหภูมิของวัสดุปลูก
ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

2.3 ระบบฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกที่ใช้น้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์

หลังจากออกแบบและสร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อการฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกที่ชัดเจนแล้วเสร็จเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการเชื่อมต่อระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเข้าด้วยกัน ซึ่งจะประกอบด้วย ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และถังเก็บน้ำร้อนจำนวน 3 ถัง ซึ่งถังเก็บน้ำร้อนที่ 1 จะมีหน้าที่สำหรับการเก็บสะสมน้ำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เท่านั้น ส่วนถังเก็บน้ำร้อนที่ 2 และถังเก็บน้ำร้อนที่ 3 จะมีหน้าที่ในการการพักน้ำร้อนสำหรับหมุนเวียนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แสดงดังภาพที่ 32



(ก) ไดอะแกรมระบบฆ่าเชื้อในวัสดุปลูก



(ข) ระบบฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกที่ใช้ในการทดสอบ

ภาพที่ 32 ระบบฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกที่ใช้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์

โดยระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะเริ่มต้นทำงานตั้งแต่เวลา 8:00-16:00 น. หลังจากเวลา 16:00 น. จะทำการตรวจเช็คอุณหภูมิของน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนที่ 1 ซึ่งหากพบว่าอุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนที่ 1 ไม่ถึง 70°C จะทำการใช้ฮีตเตอร์เป็นแหล่งให้ความร้อนเสริมให้แก่ น้ำร้อนจนได้น้ำร้อนที่มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเท่ากับ 70°C ตลอดทั้งถัง หลังจากนั้นจะทำการเปิดปั๊มน้ำเพื่อปล่อยน้ำร้อนจากถังเก็บน้ำร้อนที่ 1 ให้ไหลผ่านเข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนตั้งแต่เวลา 16:40 น. เพื่อทำการไล่น้ำเย็นที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แล้วเริ่มทำการบันทึกข้อมูลตั้งแต่เวลา 17:00-23:00 น.

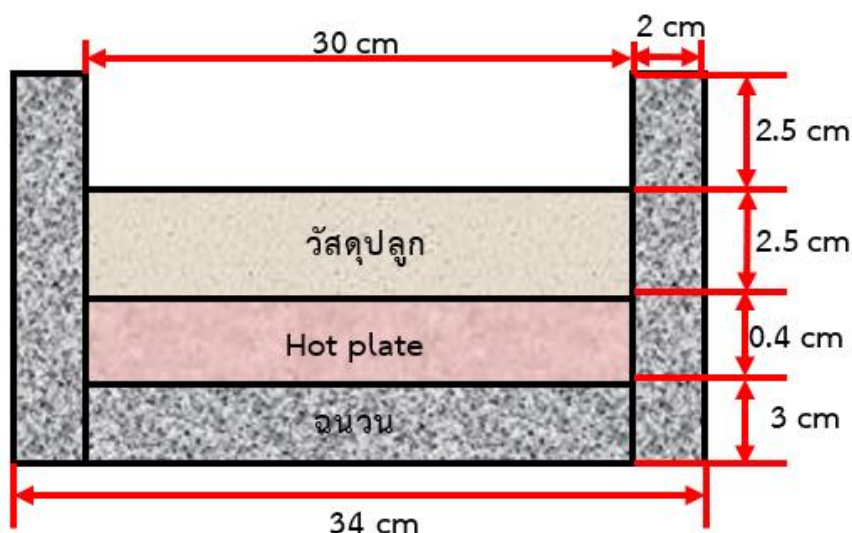
3. กรณีศึกษา และการออกแบบการทดลอง

3.1 การศึกษาอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูก ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

ในการทดสอบการหาอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จะเริ่มต้นที่การศึกษาลักษณะทางกายภาพ และคุณสมบัติทางความร้อนเริ่มต้นของวัสดุปลูกที่นำมาทดสอบ โดยเริ่มจากการทดสอบหาค่าการนำความร้อนของวัสดุปลูกตามมาตรฐาน ASTM C177 ในชุดทดสอบ Hot plate แสดงดังภาพที่ 33 (ก) ซึ่งทำจากเหล็กกล่องมีความกว้าง 30 cm ยาว 30 cm และมีแผ่น Hot plate ที่ทำจากแผ่นเหล็กหนา 0.4 cm ซึ่งบริเวณใต้แผ่น Hot plate จะมีขดลวดความร้อนขนาด 400 W ชุดทดสอบจะทำการบุนวนวางด้าบริเวณด้านข้าง และบริเวณด้านใต้มีความหนา 2 cm และ 3 cm ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 33 (ข)



(ก) แผ่น Hot plate



(ข) ขนาดและโครงสร้างชุดทดสอบการนำความร้อนของวัสดุปลูกจากมุม Side view

ภาพที่ 33 ชุดทดสอบการนำความร้อนของวัสดุปลูกตามมาตรฐาน ASTM C177

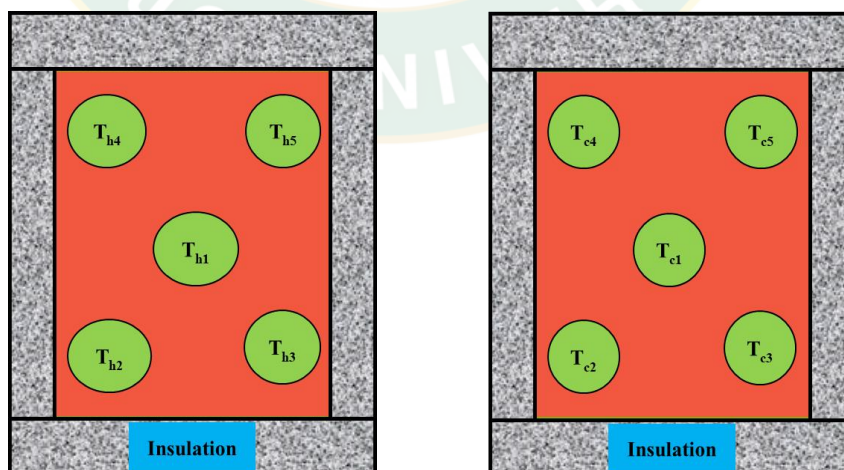
ทำการบรรจุตัวอย่างวัสดุปลูกที่จะทำการทดสอบลงในชุดทดสอบการนำความร้อน ซึ่งวัสดุปลูกที่นำมาทดสอบนั้นมีส่วนผสมของ ดินดำ ขี้เถ้าแกลบ แกลบดิบ ขุยมะพร้าว มะพร้าวสับ กากลูกเตย และปุ๋ยคอก แสดงดังภาพที่ 34 (ก) โดยกำหนดให้วัสดุปลูกมีความหนาจากแผ่น Hot plate เท่ากับ 2.5 cm วัสดุปลูกมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 1.5 kg และค่าเฉลี่ยความชื้นเริ่มต้นของวัสดุปลูกเท่ากับ 15.73%wb ซึ่งทำการตรวจวัดค่าความชื้นวัสดุปลูกโดยใช้ Soil moisture meter (Model: Lutron PMS-714 Resolution 0.1% Accuracy $\pm 5\%$) โดยจะแสดงค่าความชื้นมาตรฐานเปียก มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นทำการปรับกระแสไฟฟ้าสำหรับขดลวดความร้อนโดยใช้ อุปกรณ์ Dimmer switch ให้มีค่าเท่ากับ 0.4-0.5 A ซึ่งทำการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าในขดลวดความร้อนโดยใช้ Digital clamp meter แสดงดังภาพที่ 34 (ข) ทำการติดตั้งสาย Thermocouple type K เพื่อทำการตรวจวัดอุณหภูมิ และทำการเก็บบันทึกข้อมูลตำแหน่งจุดวัดต่างๆ ทุกๆ 2 min ได้แก่ อุณหภูมิฝั่ง Hot plate และฝั่ง Ambient แสดงดังภาพที่ 34 (ค) โดยใช้ Temperature data logger (Model: Lutron TM 1947SD Accuracy $\pm 0.4\%$) โดยจะทำการทดสอบเวลาทั้งสิ้น 10 hr แล้วนำค่าอุณหภูมิที่สภาวะคงที่เฉลี่ยทั้งในฝั่งของ Hot plate และฝั่ง Ambient ที่เก็บบันทึกได้ไปคำนวณหาการนำความร้อนของวัสดุปลูกจากสมการที่ (19) หลังจากนั้นจะทำการทดสอบซ้ำอีกรวมทั้งสิ้น 3 ครั้ง



(ก) บรรจุวัสดุปลูกลงในชุดทดสอบการหาสภาพค่าการนำความร้อนของวัสดุปลูก



(ข) การปรับกระแสไฟฟ้าในชุดลดความร้อนโดยใช้ Dimmer switch ให้อยู่ที่ 0.4-0.5 A



(ค) จุดวัดอุณหภูมิวัสดุปลูกด้าน Hot plate (ข)จุดวัดอุณหภูมิวัสดุปลูกด้าน Ambient

ภาพที่ 34 จุดวัดอุณหภูมิวัสดุปลูกด้าน Hot plate และด้าน Ambient ในชุดทดสอบการหาค่าการนำความร้อนของวัสดุปลูก

สำหรับการทดสอบการหาอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จะเริ่มต้นที่การผลิตน้ำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงเวลากลางวันตั้งแต่เวลา 8:00-16:00 น. โดยกำหนดอัตราการไหลของน้ำในระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 2.88 L/min แล้วทำการเก็บบันทึกข้อมูลตำแหน่งจุดวัดต่างๆ ทุกๆ 1 min ได้แก่ อุณหภูมิน้ำเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิน้ำออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนโดยใช้ Temperature data logger (Model: Lutron TM 1947SD Accuracy $\pm 0.4\%$) และวัดค่ารังสีอาทิตย์โดยใช้ Solar power meter (Model: Lutron SPM-1116SD) เมื่อเวลา 16:00 น. ให้ทำการตรวจเช็คอุณหภูมิของน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนที่ 1 ซึ่งหากพบว่าอุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนที่ 1 ไม่ถึง 70°C ให้ใช้ฮีตเตอร์เป็นแหล่งให้ความร้อนเสริมให้แก่น้ำร้อนจนได้น้ำร้อนที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 70°C ตลอดทั้งถัง หลังจากนั้นทำการทดสอบหาอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน สำหรับวัสดุปลูกจะถูกบรรจุลงในกระบะทดสอบจนเต็ม ซึ่งวัสดุปลูกจะมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 50 kg แสดงดังภาพที่ 35 โดยวัสดุปลูกที่นำมาทดสอบมีค่าความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 15.1-15.9% wb ซึ่งทำการตรวจวัดค่าความชื้นโดยใช้ Soil moisture meter (Model: Lutron PMS-714 Resolution 0.1%, Accuracy $\pm 5\%$) หลังจากใส่วัสดุปลูกลงในกระบะทดสอบจนเต็มแล้ว ได้ทำการปล่อยน้ำร้อนที่ได้จากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์รวมกับการใช้ฮีตเตอร์ที่อุณหภูมิ น้ำร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 70°C ตั้งแต่เวลา 17:40 น. เพื่อทำการไล่น้ำเย็นที่ตกค้างอยู่ในระบบ โดยกำหนดอัตราการไหลของน้ำร้อนที่ไหลเข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเริ่มต้นเท่ากับ 1.5 L/min แล้วทำการเก็บบันทึกข้อมูลตำแหน่งจุดวัดต่างๆ ทุกๆ 1 min ได้แก่ อุณหภูมิวัสดุปลูกที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงเวลาในกระบะทดสอบ อุณหภูมิน้ำเข้าและน้ำออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน อุณหภูมิ น้ำร้อนในถังพักน้ำร้อน และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม โดยใช้ Temperature data logger (Model: Lutron TM 1947SD Accuracy $\pm 0.4\%$) และ (Model: GRAPHTEC midi logger GL240) ตั้งแต่เวลา 17:00-23:00 น. หลังจากนั้นทำการทดลองซ้ำอีกครั้งภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ใกล้เคียงกัน โดยในแต่ละวันจะกำหนดอัตราการไหลของน้ำร้อนที่ไหลเข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 2 L/min 2.5 L/min และ 3 L/min ตามลำดับ หลังจากทำการทดสอบจนครบตามเงื่อนไขที่กำหนดแล้วได้ทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิของวัสดุปลูกที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงเวลาของน้ำร้อนในแต่ละอัตราการไหล เพื่อหาอัตราการไหลที่สามารถถ่ายเทความร้อนให้แก่วัสดุปลูกเพื่อให้ได้อุณหภูมิที่ดีที่สุด โดยต้องการให้อุณหภูมิของวัสดุปลูกมีอุณหภูมิที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ซึ่งจะสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ *Ralstonia solanacearum* ได้



ภาพที่ 35 วัสดุปลูกตัวอย่างที่ถูกบรรจุลงในกระบะทดสอบซึ่งเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

3.2 การศึกษาค่าความชื้นในวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

การทดสอบการหาค่าความชื้นในวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของวัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จะเริ่มต้นที่การศึกษาลักษณะทางกายภาพ และคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุปลูกในแต่ละระดับค่าความชื้น ซึ่งการปรับสภาพความชื้นในวัสดุปลูกจะทำโดยการพ่นละอองน้ำให้ทั่ววัสดุปลูกแล้วทำการคลุกเคล้าวัสดุปลูกให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียว ทำการตรวจวัดค่าความชื้นวัสดุปลูกโดยใช้ Soil moisture meter (Model: Lutron PMS-714 Resolution 0.1% Accuracy $\pm 5\%$) แสดงดังภาพที่ 36



(ก) การปรับสภาพความชื้นในวัสดุปลูก



(ข) การตรวจวัดความชื้นในวัสดุปลูก

ภาพที่ 36 การปรับสภาพความชื้นในวัสดุปลูก

จากนั้นทำการทดสอบหาค่าการนำความร้อนของวัสดุปลูกตามมาตรฐาน ASTM C177 ในชุดทดสอบ Hot plate โดยทดสอบที่ค่าความชื้นในวัสดุปลูกทั้งหมด 4 ระดับ ได้แก่ 15%wb 25%wb 35%wb และ 45%wb ตามลำดับ โดยกำหนดให้วัสดุปลูกมีความหนาจากแผ่น Hot plate เท่ากับ 2.5 cm วัสดุปลูกมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 1.5-2 kg ทำการปรับกระแสไฟฟ้าในชุดลดความร้อนโดยใช้ อุปกรณ์ Dimmer switch ให้มีค่าเท่ากับ 0.4-0.5 A ซึ่งทำการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าในชุดลดความร้อนโดยใช้ Digital clamp meter และทำการเก็บบันทึกข้อมูลตำแหน่งจุดวัดต่างๆ ทุกๆ 2 min ได้แก่ อุณหภูมิฝั่ง Hot plate และฝั่ง Ambient โดยใช้ Temperature data logger (Model: Lutron TM 1947SD Accuracy $\pm 0.4\%$) โดยจะทำการทดสอบเวลาทั้งสิ้น 10 hr แล้วนำค่าอุณหภูมิที่สภาวะคงที่เฉลี่ยทั้งในฝั่งของ Hot plate และฝั่ง Ambient ที่เก็บบันทึกได้ไปคำนวณหาค่าการนำความร้อนของวัสดุปลูกจากสมการที่ (19) หลังจากนั้นนำค่าการนำความร้อนของวัสดุปลูกในแต่ละค่าความชื้นมาทำการเปรียบเทียบกัน เพื่อศึกษาผลของความชื้นในวัสดุปลูกที่มีผลต่อค่าการนำความร้อนในวัสดุปลูก

สำหรับการทดสอบการหาค่าความชื้นในวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยการทดสอบจะเริ่มต้นที่การผลิตน้ำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงเวลากลางวันตั้งแต่วันที่ 8:00-16:00 น. โดยกำหนดอัตราการไหลของน้ำในระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 2.88 L/min แล้วทำการเก็บบันทึกข้อมูลตำแหน่งจุดวัดต่างๆ ทุกๆ 1 min ได้แก่ อุณหภูมิน้ำเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิน้ำออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์

อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนโดยใช้ Temperature data logger (Model: Lutron TM 1947SD Accuracy $\pm 0.4\%$) และค่ารังสีอาทิตย์โดยใช้ Solar power meter (Model: Lutron SPM-1116SD) เมื่อเวลา 16:00 น. ให้ทำการตรวจเช็คอุณหภูมิของน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนที่ 1 ซึ่งหากพบว่าอุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนที่ 1 ไม่ถึง 70°C ให้ใช้ฮีตเตอร์เป็นแหล่งให้ความร้อนเสริมให้แก่น้ำร้อนจนได้น้ำร้อนที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 70°C ตลอดทั้งถัง หลังจากนั้นทำการทดสอบหาค่าความชื้นในวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งวัสดุปลูกจะถูกทำการปรับสภาพความชื้นโดยการพ่นละอองน้ำให้ที่วัสดุปลูกแล้วทำการคลุกเคล้าวัสดุปลูกให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวแล้วทำการตรวจวัดค่าความชื้นวัสดุปลูกที่ต้องการ แสดงดังภาพที่ 37



(ก) วัสดุปลูกที่มีค่าความชื้น 15%wb



(ข) วัสดุปลูกที่มีค่าความชื้น 25%wb



(ค) วัสดุปลูกที่มีค่าความชื้น 35%wb



(ง) วัสดุปลูกที่มีค่าความชื้น 45%wb

ภาพที่ 37 การตรวจวัดค่าความชื้นวัสดุปลูกที่ใช้อุปกรณ์ Soil moisture meter

หลังจากทำการปรับสภาพค่าความชื้นของวัสดุปลูกตามเงื่อนไขที่กำหนดแล้ว จึงทำการบรรจุวัสดุปลูกลงในกระบอกทดสอบจนเต็ม โดยวัสดุปลูกในแต่ละค่าความชื้นจะมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 50-70 kg โดยจะเริ่มต้นทำการทดสอบวัสดุปลูกที่มีค่าความชื้นเท่ากับ 15%wb หลังจากใส่วัสดุปลูกลงในกระบอกจนเต็มแล้วจึงได้ทำการปล่อยน้ำร้อนที่ได้จากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์รวมกับการใช้ฮีตเตอร์ที่อุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 70°C ตั้งแต่เวลา 17:40 น. เพื่อทำการไล่น้ำเย็นที่ตกค้างอยู่ในระบบ โดยกำหนดอัตราการไหลของน้ำร้อนที่ไหลเข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 1.5 L/min (อ้างอิงจากผลของการทดสอบการหาอัตราการไหลที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน) แล้วทำการเก็บบันทึกข้อมูลตำแหน่งจุดวัดต่างๆ ทุกๆ 1 min ได้แก่ อุณหภูมิวัสดุปลูกที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงเวลาในกระบอกทดสอบ อุณหภูมิน้ำเข้าและน้ำออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน อุณหภูมิน้ำร้อนในถังพักน้ำร้อน และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม โดยใช้ Temperature data logger (Model: Lutron TM 1947SD Accuracy $\pm 0.4\%$) และ (Model: GRAPHTEC midi logger GL240) ตั้งแต่เวลา 17:00-23:00 น. หลังจากนั้นทำการทดลองซ้ำอีกครั้งภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ใกล้เคียงกัน โดยในแต่ละกรณีจะกำหนดค่าความชื้นของวัสดุปลูกเท่ากับ 25%wb 35%wb และ 45%wb ตามลำดับ หลังจากทำการทดสอบจนครบตามเงื่อนไขที่กำหนดแล้ว ได้ทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิของวัสดุปลูกที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงเวลาในแต่ละค่าความชื้น เพื่อหาค่าความชื้นในวัสดุปลูกที่เหมาะสมที่สามารถถ่ายเทความร้อนจากอุปกรณ์

แลกเปลี่ยนความร้อนมายังวัสดุปลูกจนมีอุณหภูมิที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ซึ่งจะสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ *Ralstonia solanacearum* ได้

3.3 การศึกษาการฆ่าเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในวัสดุปลูกพืช

ในการเตรียมวัสดุปลูกที่มีเชื้อ *Ralstonia solanacearum* โดยทำการเลือกตัวอย่างเชื้อที่เป็นแบคทีเรียของปทุมมาที่เป็นสาเหตุก่อให้เกิดโรคเหี่ยวในพืชมาทำการเพิ่มปริมาณโดยการเพาะเลี้ยงในสารอาหารเลี้ยงเชื้อ (TZC) จนได้ตัวอย่างเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในรูปแบบของสารละลายปริมาณเท่ากับ 1,250 ml แสดงดังภาพที่ 38 (ก) หลังจากนั้นทำการนำสารละลายเชื้อ *Ralstonia solanacearum* เทราดลงไปยังวัสดุปลูกที่มีน้ำหนักเท่ากับ 15 kg เพื่อทำเป็นวัสดุปลูกหัวเชื้อตั้งต้น แสดงดังภาพที่ 38 (ข) แล้วทำการคลุกเคล้าวัสดุปลูกและสารละลายเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวโดยใช้มืออย่างประณีต แสดงดังภาพที่ 38 (ค) หลังจากนั้นทำการผสมวัสดุปลูกหัวเชื้อที่ได้ทำการคลุกเคล้าสารละลายเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ลงไปยังวัสดุปลูกที่มีน้ำหนักเท่ากับ 35 kg แสดงดังภาพที่ 38 (ง) แล้วทำการคลุกเคล้าให้วัสดุปลูกทั้งหมดเข้ากันเป็นเนื้อเดียว แสดงดังภาพที่ 38 (จ) หลังจากเสร็จสิ้นเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ให้ทำการพักวัสดุปลูกเป็นเวลา 48 hr (2 Day) โดยกระบวนการนี้ต้องการที่จะให้เชื้อ *Ralstonia solanacearum* ได้ทำการปรับสภาพในวัสดุปลูก โดยพยายามเลี้ยงไม่ให้วัสดุปลูกมีการสัมผัสความร้อนหรือแสงอาทิตย์ เพราะว่า ถ้าหากวัสดุปลูกที่มีเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ได้รับความร้อนหรือแสงอาทิตย์ในปริมาณที่มากอาจทำให้เชื้อตายได้ แสดงดังภาพที่ 38 (ฉ)



(ก) เชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในรูปแบบของสารละลาย



(ข) นำสารละลายเชื้อ *Ralstonia solanacearum* เทราดลงไปยังวัสดุปลูกที่มีน้ำหนัก 15 kg เพื่อทำเป็นวัสดุปลูกหัวเชื้อตั้งต้น



(ค) คลุกเคล้าวัสดุปลูกและสารละลายเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียว



(ง) ผสมวัสดุปลูกหัวเชื้อ 15 kg ที่ได้ทำการคลุกเคล้าสารละลายเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ลง
ไปยังวัสดุปลูกที่มีน้ำหนัก 35 kg



(จ) คลุกเคล้าให้วัสดุปลูกทั้งหมดเข้ากันเป็นเนื้อเดียว



(ฉ) การพักวัสดุปลูกเป็นเวลา 48 hr

ภาพที่ 38 การเตรียมวัสดุปลูกที่มีเชื้อ *Ralstonia solanacearum*

สำหรับการทดสอบการศึกษาการฆ่าเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในวัสดุปลูกพืชที่อุณหภูมิต่ำด้วยระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการทดสอบจะเริ่มต้นที่การผลิตน้ำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงเวลากลางวันตั้งแต่เวลา 8:00-16:00 น. โดยกำหนดอัตราการไหลของน้ำในระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 2.88 L/min แล้วทำการเก็บบันทึกข้อมูลตำแหน่งจุดวัดต่างๆ ทุกๆ 1 min ได้แก่ อุณหภูมิน้ำเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิน้ำออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนโดยใช้อุปกรณ์ Temperature data logger (Model: Lutron TM 1947SD Accuracy $\pm 0.4\%$) และค่ารังสีอาทิตย์โดยใช้อุปกรณ์ Solar power meter (Model: Lutron SPM-1116SD) เมื่อเวลา 16:00 น. ให้ทำการตรวจเช็คอุณหภูมิของน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนที่ 1 ซึ่งหากพบว่าอุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนที่ 1 ไม่ถึง 70°C ให้ใช้ฮีตเตอร์เป็นแหล่งให้ความร้อนเสริมให้แก่น้ำร้อนจนได้น้ำร้อนที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 70°C ตลอดทั้งถัง หลังจากนั้นทำการศึกษาการฆ่าเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในวัสดุปลูกพืช โดยวัสดุปลูกที่นำมาทำการทดสอบจะทำการปรับสภาพค่าความชื้นเท่ากับ 45% wb (อ้างอิงจากผลการทดสอบการหาค่าความชื้นที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน) หลังจากปรับสภาพค่าความชื้นเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ได้ทำการเก็บตัวอย่างของวัสดุปลูกเพื่อทำการส่งตรวจหาปริมาณเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ที่อาศัยอยู่ในวัสดุปลูกก่อนที่จะทำการทดสอบการฆ่าเชื้อ โดยจะทำการสุ่มเก็บตัวอย่างวัสดุปลูกใส่ถุงพลาสติกทั้งหมด 3 ตัวอย่าง ซึ่งแต่ละตัวอย่างจะมีน้ำหนักเท่ากับ 200 g แสดงดังภาพที่ 39



ภาพที่ 39 การเก็บตัวอย่างของวัสดุปลูกเพื่อทำการส่งตรวจหาปริมาณเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในวัสดุปลูกก่อนที่จะทำการทดสอบการฆ่าเชื้อ

หลังจากนั้นได้ทำการบรรจุวัสดุปลูกที่มีเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ลงในกระบะทดสอบจนเต็ม แล้วจึงได้ทำการปล่อยน้ำร้อนที่ได้จากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการใช้ฮีตเตอร์ที่อุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 70°C ตั้งแต่เวลา 17:40 น. เพื่อทำการไล่น้ำเย็นที่ตกค้างอยู่ในระบบ โดยกำหนดอัตราการไหลของน้ำร้อนที่ไหลเข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 1.5 L/min (อ้างอิงจากผลการทดสอบของการหาอัตราการไหลที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน) แล้วทำการเก็บบันทึกข้อมูลตำแหน่งจุดวัดต่างๆ ทุกๆ 1 min ได้แก่ อุณหภูมิวัสดุปลูกที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงเวลาในกระบะทดสอบ อุณหภูมิน้ำเข้าและน้ำออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน อุณหภูมิน้ำร้อนในถังพักน้ำร้อน และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม โดยใช้ Temperature data logger (Model: Lutron TM 1947SD Accuracy $\pm 0.4\%$) และ (Model: GRAPHTEC midi logger GL240) ตั้งแต่เวลา 17:00-23:00 น. หลังจากเสร็จสิ้นในส่วนของการกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนในวัสดุปลูกเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ได้ทำการเก็บตัวอย่างวัสดุปลูกหลังการทดสอบการฆ่าเชื้อ เพื่อส่งตรวจเพื่อหาปริมาณเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ที่หลงเหลืออยู่ในวัสดุปลูก แสดงดังภาพที่ 40 (ก) โดยเลือกเก็บตัวอย่างวัสดุปลูกบริเวณพื้นที่หน้าตัดตามแนวความยาวของกระบะทดสอบ ทั้งหมด 3 ระดับความลึกได้แก่ 6.8 cm ,13.6 cm และ 20.4 cm ตามลำดับ ซึ่งแต่ละระดับความลึกจะทำการเก็บตัวอย่างวัสดุปลูกทั้งหมด 4 ตัวอย่าง ดังนั้นจะมีตัวอย่างวัสดุปลูกที่ต้องทำการส่งตรวจหาปริมาณเชื้อ *Ralstonia solanacearum* หลังการทดสอบการฆ่าเชื้อทั้งหมด 12 ตัวอย่าง แสดงดังภาพที่ 40 (ข) หลังจากส่งตัวอย่างของวัสดุปลูกเพื่อทำการตรวจหาปริมาณเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ที่หลงเหลืออยู่ในวัสดุปลูกหลังการทดสอบการฆ่า

เชื้อเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จึงได้ทำการทดลองซ้ำอีกครั้งภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ใกล้เคียงกันรวมทั้งสิ้น 2 ครั้ง แล้วนำผลการทดลองที่ได้มาทำการวิเคราะห์ผลต่อไป



(ก) การเก็บตัวอย่างวัสดุปลูกหลังการทดสอบสังเกตเพื่อหาปริมาณเชื้อ

Ralstonia solanacearum



(ข) ตัวอย่างวัสดุปลูกที่ต้องทำการสังเกตหาปริมาณเชื้อ *Ralstonia solanacearum* หลังการฆ่าเชื้อด้วยน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์


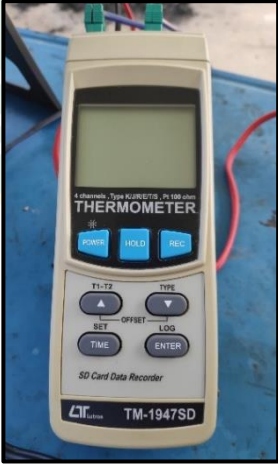
ภาพที่ 40 การเก็บตัวอย่างของวัสดุปลูกเพื่อทำการสังเกตหาปริมาณเชื้อ

Ralstonia solanacearum ในวัสดุปลูกหลังการทดสอบการฆ่าเชื้อ

4. เครื่องมือวัด และบันทึกข้อมูล

เครื่องมือวัด และบันทึกข้อมูล สำหรับเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความเข้มรังสีอาทิตย์ ความเร็วอากาศ และความชื้นในวัสดุปลูก แสดงดังตารางที่ 5


ตารางที่ 5 เครื่องมือวัด และบันทึกข้อมูล

| เครื่องมือวัด | รายละเอียด | ภาพอุปกรณ์ |
|-----------------------------------|--|---|
| เครื่องวัดความเร็วลม | <ul style="list-style-type: none"> - เครื่องวัดความเร็วลม 4 in 1 - ยี่ห้อ Lutron - รุ่น AH 4223 Accuracy $\pm 2\%$ - สามารถวัดความเร็วลมได้ตั้งแต่ 0.4-30 m/s |  |
| Temperature data logger 4 channel | <ul style="list-style-type: none"> - ยี่ห้อ Lutron - รุ่น TM 1947SD Accuracy $\pm 0.4\%$ - สามารถทำการวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ $-100-1,700^{\circ}\text{C}$ |  |

ตารางที่ 5 (ต่อ) เครื่องมือวัด และบันทึกข้อมูล

| เครื่องมือวัด | รายละเอียด | ภาพอุปกรณ์ |
|---------------------------|---|---|
| เครื่องวัดค่ารังสีอาทิตย์ | <ul style="list-style-type: none"> - ยี่ห้อ Lutron - รุ่น SPM-1116SD - สามารถวัดค่ารังสีอาทิตย์ได้ตั้งแต่ 0-2,000 W/m² |  |
| เครื่องวัดความชื้นในดิน | <ul style="list-style-type: none"> - Soil moisture meter - ยี่ห้อ Lutron - รุ่น PMS-714, Resolution 0.1% Accuracy ±5% - สามารถวัดความชื้นในดินหรือวัสดุปลูกได้ตั้งแต่ 0-50%wb |  |
| อุปกรณ์ตรวจวัดทางไฟฟ้า | <ul style="list-style-type: none"> - Digital Clamp Meter - ยี่ห้อ UNI-T - รุ่น UNI-T UT204A - วัดค่ากระแสไฟฟ้า AC/DC ได้ตั้งแต่ 40A - 600A - วัดแรงดันไฟฟ้า AC/DC ได้ตั้งแต่ 4-600 V |  |

ตารางที่ 5 (ต่อ) เครื่องมือวัด และบันทึกข้อมูล

| เครื่องมือวัด | รายละเอียด | ภาพอุปกรณ์ |
|---|--|---|
| <p>อุปกรณ์เก็บบันทึกข้อมูล อุณหภูมิ</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Temperature data logger - ยี่ห้อ GRAPHTEC 10 channel - รุ่น midi logger GL240 - รับอินพุต: Voltage , Thermocouple ,Humidity , Logic/Pulse - Thermocouple (TC) : K ,J ,E ,T ,R ,S ,B ,N, W(WRe5-26) - หน่วยความจำ 4GB - สามารถแสดงผลค่า: Average ,Peak ,Maximum และ Minimum |  |

บทที่ 4

ผล และวิจารณ์ผลการทดลอง

ในการนำเสนอผลการศึกษสามารถแบ่งผลการศึกษาออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่

1. ผลการศึกษสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ
2. ผลการศึกษาอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
3. ผลการศึกษาค่าความชื้นในวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
4. ผลการศึกษการฆ่าเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในวัสดุปลูกพืช

1. ผลการศึกษสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

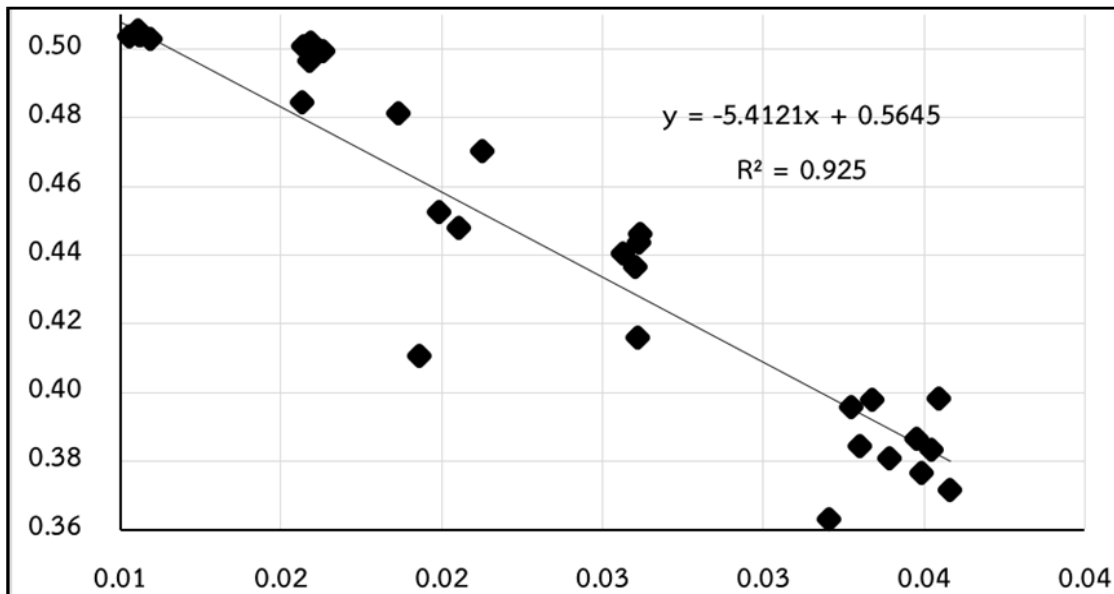
ผลการศึกษสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ขนาดเท่ากับ 2.4 m² ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASHRAE STANDARD 93-2003 แสดงดังตารางที่ 6 ประกอบด้วยค่าเฉลี่ยของค่ารังสีอาทิตย์ อุณหภูมิน้ำเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิน้ำออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และค่าความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ตารางที่ 6 ข้อมูลการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ศึกษาในงานวิจัย

| $T_{fi, set}$ (°C) | I_T (W/m ²) | T_{fi} (°C) | T_{fo} (°C) | T_a (°C) | Q_{coll} (W) | $(T_{fi} - T_a)/I_T$ | η_{coll} |
|--------------------|---------------------------|---------------|---------------|------------|----------------|----------------------|---------------|
| 35 | 899.6 | 37.8 | 43.3 | 30.8 | 1,100.3 | 0.01 | 0.51 |
| 40 | 913.6 | 41.4 | 46.9 | 31.7 | 1105.3 | 0.01 | 0.50 |
| 45 | 935.6 | 46.9 | 52.4 | 32.0 | 1115.4 | 0.02 | 0.50 |
| 50 | 915.7 | 51.3 | 56.2 | 33.0 | 994.8 | 0.02 | 0.45 |
| 55 | 887.1 | 56.4 | 61.0 | 33.3 | 929.5 | 0.03 | 0.44 |
| 60 | 822.4 | 61.1 | 64.9 | 34.0 | 758.6 | 0.03 | 0.38 |
| 65 | 928.5 | 66.4 | 70.7 | 33.7 | 854.1 | 0.04 | 0.38 |

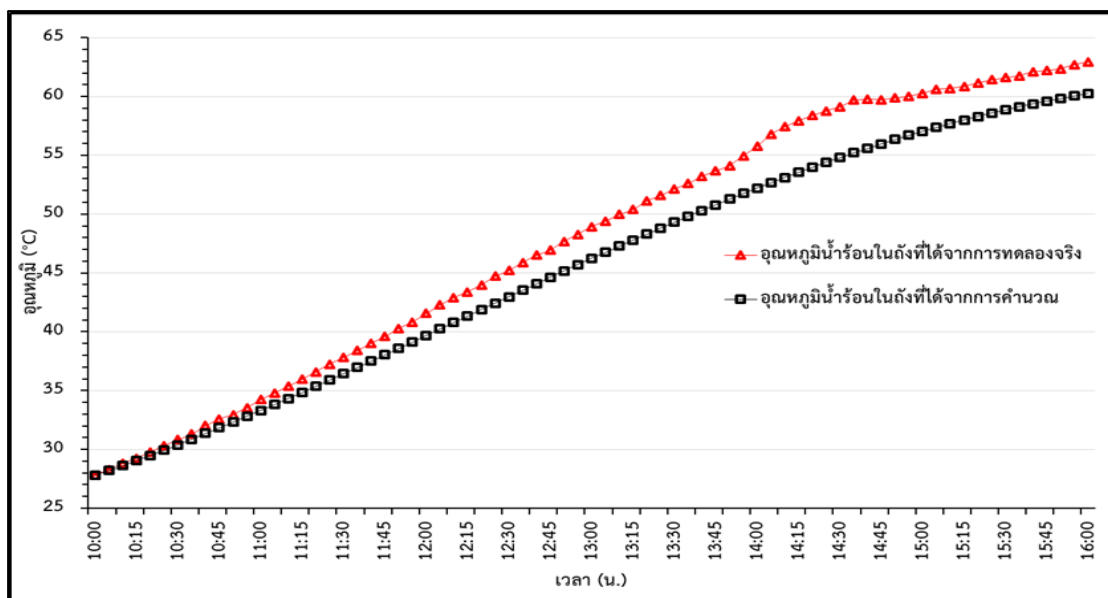
เมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (η_{coll}) และ $(T_{fi} - T_a)/I_T$ มาสร้างสมการเชิงถดถอย จะได้สมการเส้นตรงที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.92 และได้ค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ ซึ่งเป็นค่าการส่องผ่านและดูดกลืนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์จากจุดตัด

บนแกน Y มีค่าเท่ากับ 0.5645 และค่า F_{RUL} ซึ่งเป็นค่าการสูญเสียความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ จากความชันใต้ต้นกราฟ มีค่าเท่ากับ $5.4121 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ แสดงดังภาพที่ 41



ภาพที่ 41 ความสัมพันธ์ระหว่าง η_{coll} และ $(T_{fi} - T_a)/I_T$

สำหรับผลการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนที่ได้จากการทดลองจริงกับ อุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนที่ได้จากการคำนวณจากสมการที่ (16) ในแต่ละช่วงเวลา โดยใช้ค่า สมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ได้จากการทดสอบ แสดงดังภาพที่ 42 จากการศึกษา พบว่า อุณหภูมิของน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนที่ได้จากการทดลองจริงมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับ อุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนที่ได้จากการคำนวณ โดยอุณหภูมิในถังเก็บน้ำร้อนที่ได้จากการ ทดลองจริง และอุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนที่เพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงเวลาที่ได้จากการคำนวณเมื่อ เวลา 16:00 น. มีอุณหภูมิสุดท้ายเท่ากับ 62.94°C และ 60.24°C ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ความ คลาดเคลื่อน (Error) ของข้อมูลพบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.69% ทำให้สามารถสรุปได้ว่าค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ และค่า F_{RUL} ที่ได้จากการศึกษาสามารถนำมาใช้คำนวณในสมการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับตัวเก็บรังสี อาทิตย์เพื่อผลิตน้ำร้อนสำหรับระบบฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกพืชในงานวิจัยนี้ได้



ภาพที่ 42 อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนที่ได้จากการทดลอง และอุณหภูมิน้ำร้อนที่ได้จากการคำนวณ ในแต่ละช่วงเวลา

2. ผลการศึกษาอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

ผลการทดสอบการหาอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน สามารถแบ่งผลการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

- 1.) ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพ และคุณสมบัติทางความร้อนเริ่มต้นของวัสดุปลูกที่นำมาทดสอบ
- 2.) ผลการทดสอบการหาอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

2.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพ และคุณสมบัติทางความร้อนเริ่มต้นของวัสดุปลูกที่นำมาทดสอบ

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพเริ่มต้นของวัสดุปลูกที่นำมาทดสอบพบว่าวัสดุปลูกมีลักษณะที่ค่อนข้างร่วน ผิวสัมผัสที่ค่อนข้างหยาบเนื่องจากมีส่วนผสมของอินทรีย์วัตถุ เช่น ดินดำ ขี้เถ้าแกลบ แกลบดิบ ขุยมะพร้าว มะพร้าวสับ กากลูกเตย และปุ๋ยคอก เป็นต้น วัสดุปลูกไม่มีการจับตัวเป็นก้อน วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยความชื้นเท่ากับ 15.73%wb และเมื่อทำการทดสอบหาค่าการนำความร้อนซึ่งเป็นคุณสมบัติทางความร้อนเริ่มต้นของวัสดุปลูกด้วยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C177 ในชุดทดสอบ Hot plate จากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิฝั่ง Hot plate และอุณหภูมิฝั่ง

Ambient ของวัสดุปลูกที่มีความหนาจากแผ่น Hot plate เท่ากับ 2.5 cm และวัสดุปลูกที่ใช้ในการทดสอบมีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเท่ากับ 1.5 kg แสดงดังตารางที่ 7 และ ตารางที่ 8 ตามลำดับ

ตารางที่ 7 อุณหภูมิฝั่ง Hot plate ของวัสดุปลูกที่ใช้ในการทดสอบ

| ตัวอย่างวัสดุปลูก | อุณหภูมิฝั่ง Hot plate ของวัสดุปลูก (°C) | | | | | | ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (°C) |
|-------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|-----------------------------------|
| | T _{h1} | T _{h2} | T _{h3} | T _{h4} | T _{h5} | เฉลี่ย | T _a |
| 1 | 97.94 | 94.32 | 89.45 | 86.62 | 101.88 | 94.04 | 22.24 |
| 2 | 101.25 | 97.56 | 91.05 | 88.33 | 104.80 | 96.60 | 22.12 |
| 3 | 101.26 | 99.08 | 91.82 | 90.51 | 104.10 | 97.35 | 21.39 |

ตารางที่ 8 อุณหภูมิฝั่ง Ambient ของวัสดุปลูกที่ใช้ในการทดสอบ

| ตัวอย่างวัสดุปลูก | อุณหภูมิฝั่ง Ambient ของวัสดุปลูก (°C) | | | | | | ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (°C) |
|-------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|-----------------------------------|
| | T _{c1} | T _{c2} | T _{c3} | T _{c4} | T _{c5} | เฉลี่ย | T _a |
| 1 | 40.98 | 41.69 | 36.44 | 39.32 | 40.29 | 39.74 | 22.24 |
| 2 | 43.60 | 49.68 | 39.14 | 39.71 | 38.61 | 42.15 | 22.12 |
| 3 | 42.93 | 41.61 | 38.02 | 37.11 | 39.09 | 39.75 | 21.39 |

จากตารางที่ 7 และตารางที่ 8 แสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิฝั่ง Hot plate และอุณหภูมิฝั่ง Ambient เมื่อเข้าสู่สภาวะคงที่ของการทดสอบ ซึ่งวัสดุปลูกทั้ง 3 ตัวอย่าง ทำการทดสอบที่ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 22.24°C 22.12°C และ 21.39°C ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิฝั่ง Hot plate ของวัสดุปลูกทั้ง 3 ตัวอย่างเมื่อเข้าสู่สภาวะคงที่มีค่าเท่ากับ 94.04°C 96.60°C และ 97.35°C ตามลำดับ เมื่อทำการพิจารณาค่าเฉลี่ยอุณหภูมิฝั่ง Ambient ของวัสดุปลูกทั้ง 3 ตัวอย่าง เมื่อเข้าสู่สภาวะคงที่มีค่าเท่ากับ 39.74°C 42.14°C และ 39.75°C ลำดับ และเมื่อนำผลต่างของค่าเฉลี่ยอุณหภูมิทั้ง 2 ฝั่ง มาทำการคำนวณหาค่าการนำความร้อนของวัสดุปลูกจากสมการที่ (19) แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลการทดสอบค่าการนำความร้อนของวัสดุปลูกที่นำมาทดสอบ

| ตัวอย่างวัสดุปลูก | ผลต่างค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิฝั่ง Hot plate และ Ambient (°C) | ค่าการนำความร้อนของวัสดุปลูก (W/m·°C) |
|-------------------|---|---------------------------------------|
| 1 | 54.30 | 0.56 |
| 2 | 54.45 | 0.61 |
| 3 | 57.60 | 0.53 |
| เฉลี่ย | 55.45 | 0.57 |

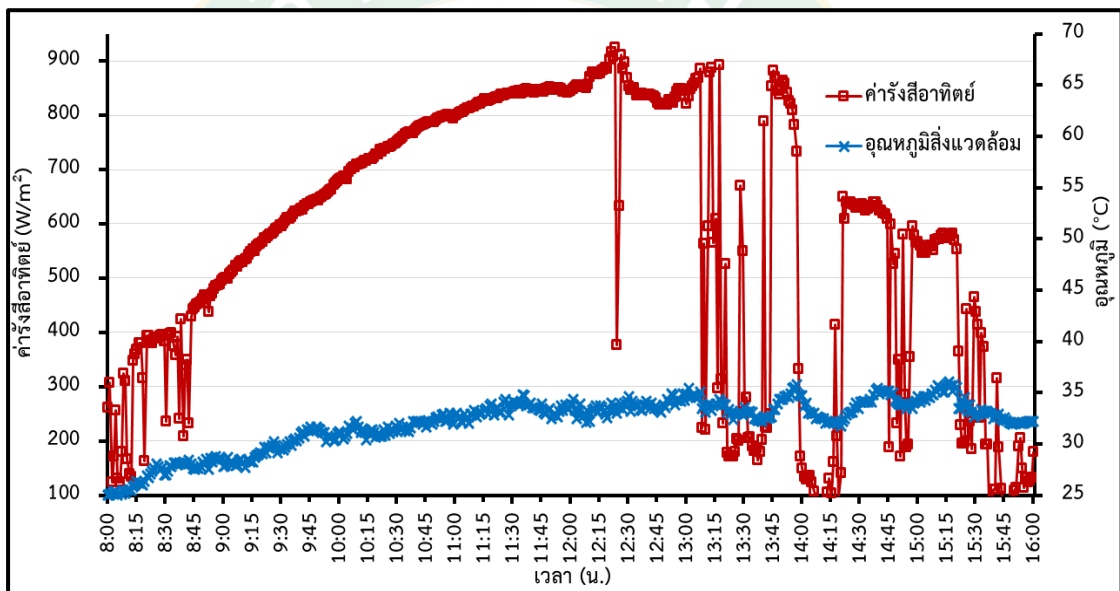
จากตารางที่ 9 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนเริ่มต้นของวัสดุปลูกที่นำมาทดสอบพบว่าวัสดุปลูกทั้ง 3 ตัวอย่าง มีผลผลต่างของค่าเฉลี่ยอุณหภูมิทั้งฝั่ง Hot plate และ Ambient เท่ากับ 54.30°C 54.45°C และ 57.6°C ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่าการนำความร้อนเริ่มต้นของวัสดุปลูกที่นำมาทดสอบทั้ง 3 ตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 0.56 W/m·°C 0.61 W/m·°C และ 0.53 W/m·°C ตามลำดับ หรือค่าเฉลี่ยการนำความร้อนของวัสดุปลูกทั้ง 3 ตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 0.57 W/m·°C จากการสังเกตพบว่า วัสดุปลูกตัวอย่างที่นำมาทดสอบมีค่าการนำความร้อนเริ่มต้นที่ค่อนข้างต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการนำความร้อนของดินทั่วไปในธรรมชาติจะมีค่าเฉลี่ยการนำความร้อนเท่ากับ 2.9 W/m·°C ซึ่งถือว่าวัสดุปลูกมีคุณสมบัติเป็นฉนวนค่อนข้างสูง ดังนั้นหากต้องการเพิ่มอุณหภูมิวัสดุปลูกให้มีค่าที่สูงพอที่จะทำการฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกจะต้องอาศัยปัจจัยอื่นๆ นอกเหนือการนำความร้อนเพียงอย่างเดียวมาพิจารณาด้วย เช่น การเพิ่มค่าความชื้นในวัสดุปลูกเพื่อเพิ่มความสามารถในการนำความร้อน เป็นต้น

2.2 ผลการทดสอบการหาอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

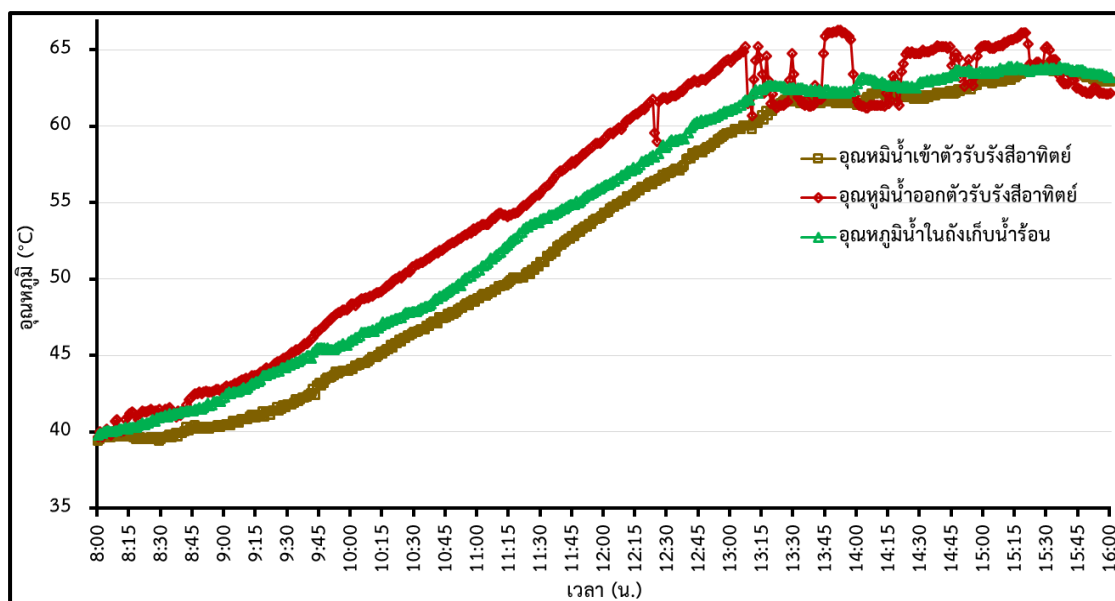
การทดสอบจะเริ่มต้นที่การผลิตน้ำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงเวลา กลางวัน ตั้งแต่เวลา 8:00-16:00 น. โดยกำหนดอัตราการไหลของน้ำในระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 2.88 L/min หลังจากนั้นจะทำการทดสอบการหาอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งกำหนดเงื่อนไขของอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสิ้น 4 ค่า ได้แก่ 1.5 L/min 2 L/min 2.5 L/min และ 3 L/min ตามลำดับ และวัสดุปลูกที่นำมาทดสอบจะทำการควบคุมให้มีค่าความชื้นประมาณ 15.1-15.9%wb ตั้งแต่เวลา 17:00-23:00 น. แสดงผลดังต่อไปนี้

2.2.1 ผลการทดสอบอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เท่ากับ 1.5 L/min

ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เริ่มทำงานตั้งแต่เวลา 8:00-16:00 น. จากการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์ตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 577.58 W/m^2 และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 32.05°C แสดงดังภาพที่ 43 (ก) อุณหภูมิน้ำเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 39.4°C อุณหภูมิน้ำออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 39.7°C และอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 39.8°C จนเมื่อเวลา 16:00 น. ถังเก็บน้ำร้อนมีอุณหภูมิน้ำร้อนสะสมเท่ากับ 63.02°C แสดงดังภาพที่ 43 (ข) จึงได้ทำการใช้ฮีตเตอร์เพื่อเป็นแหล่งความร้อนเสริมให้แก่น้ำร้อนด้วยพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 2.09 kWh เพื่อให้ได้น้ำร้อนที่มีอุณหภูมิเท่ากับ 70°C



(ก) ค่ารังสีอาทิตย์ และค่ารังสีอาทิตย์วิกฤติ



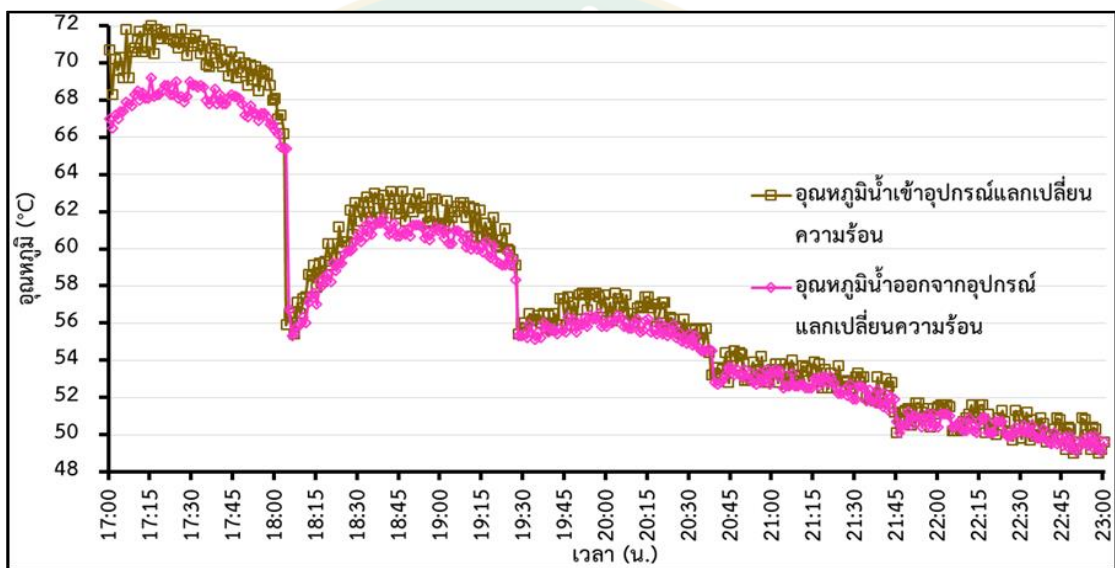
(ข) อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ภาพที่ 43 ผลการทดสอบระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 1.5 L/min

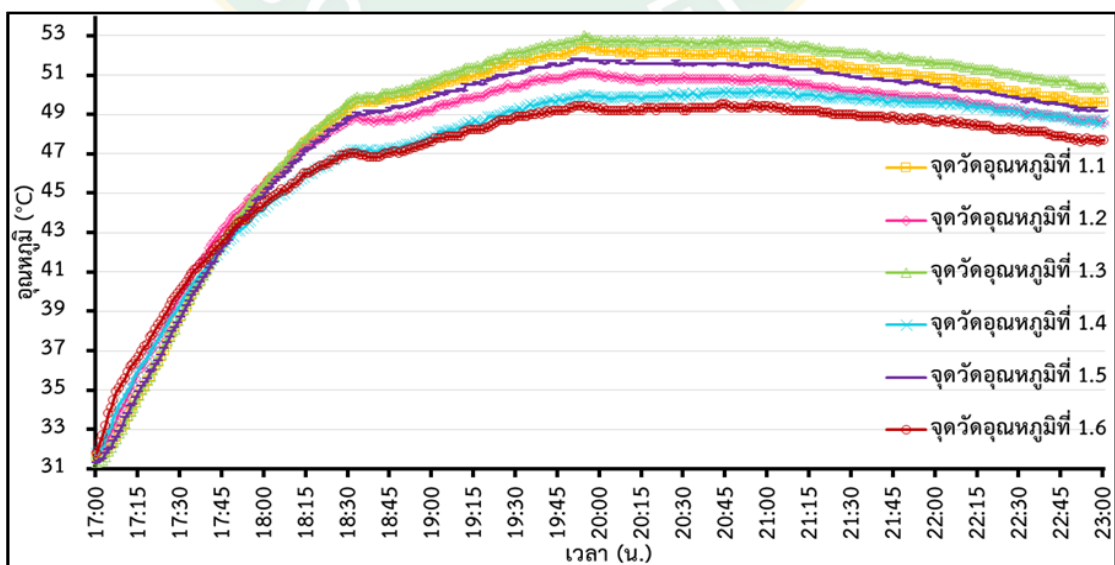
ในการทดสอบอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 1.5 L/min วัสดุปลูกที่นำมาทดสอบมีค่าเฉลี่ยความชื้นเท่ากับ 15.5%wb ทำการทดสอบที่ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 25°C จากการศึกษาพบว่า สามารถนำน้ำร้อนมาหมุนเวียนเข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้ทั้งหมด 5 รอบ โดยรอบที่ 1 ช่วงเวลา 17:00-18:03 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 70.19°C และ 67.83°C ตามลำดับ รอบที่ 2 ช่วงเวลา 18:04-19:27 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 60.84°C และ 59.82°C ตามลำดับ รอบที่ 3 ช่วงเวลา 19:28-20:34 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 56.49°C และ 55.67°C ตามลำดับ รอบที่ 4 ช่วงเวลา 20:35-21:42 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 53.25°C และ 52.82°C ตามลำดับ และรอบที่ 5 ช่วงเวลา 21:43-23:00 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 50.6°C และ 50.26°C ตามลำดับ หลังจากนั้นจึงหยุดทำการหมุนเวียนน้ำร้อนในระบบ ซึ่งผลของอุณหภูมิน้ำเข้าและน้ำออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแสดงดังภาพที่ 44 (ก)

เมื่อทำการพิจารณาอุณหภูมิของวัสดุปลูกในแต่ละระดับความลึกของกระเบะทดสอบและแต่ละตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิของวัสดุปลูกพบว่า ที่ระดับความลึกเท่ากับ 6.8 cm (ชั้นที่ 1) วัสดุปลูกมี

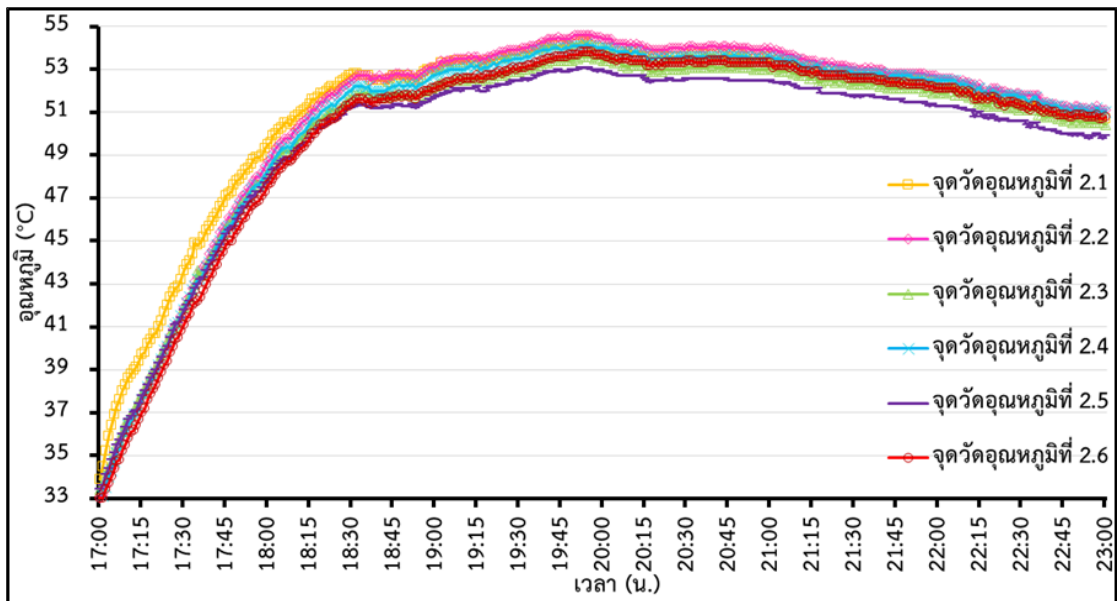
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 31.62°C โดยวัสดุปลูกตำแหน่งจุดวัดที่ 3 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 49.2°C และสูงกว่าตำแหน่งจุดวัดอื่นๆ ตั้งแต่ $0.5\text{-}2.4^{\circ}\text{C}$ แสดงดังภาพที่ 44 (ข) ที่ระดับความลึกเท่ากับ 13.6 cm (ชั้นที่ 2) วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 33.27°C โดยวัสดุปลูกตำแหน่งจุดวัดที่ 1 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 51.1°C และสูงกว่าตำแหน่งจุดวัดอื่นๆ ตั้งแต่ $0.1\text{-}2.4^{\circ}\text{C}$ แสดงดังภาพที่ 44 (ค) และที่ระดับความลึกเท่ากับ 20.4 cm (ชั้นที่ 3) วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 32.27°C โดยวัสดุปลูกตำแหน่งจุดวัดที่ 1 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 47.4°C และสูงกว่าตำแหน่งจุดวัดอื่นๆ ตั้งแต่ $0.4\text{-}2.2^{\circ}\text{C}$ แสดงดังภาพที่ 44 (ง)



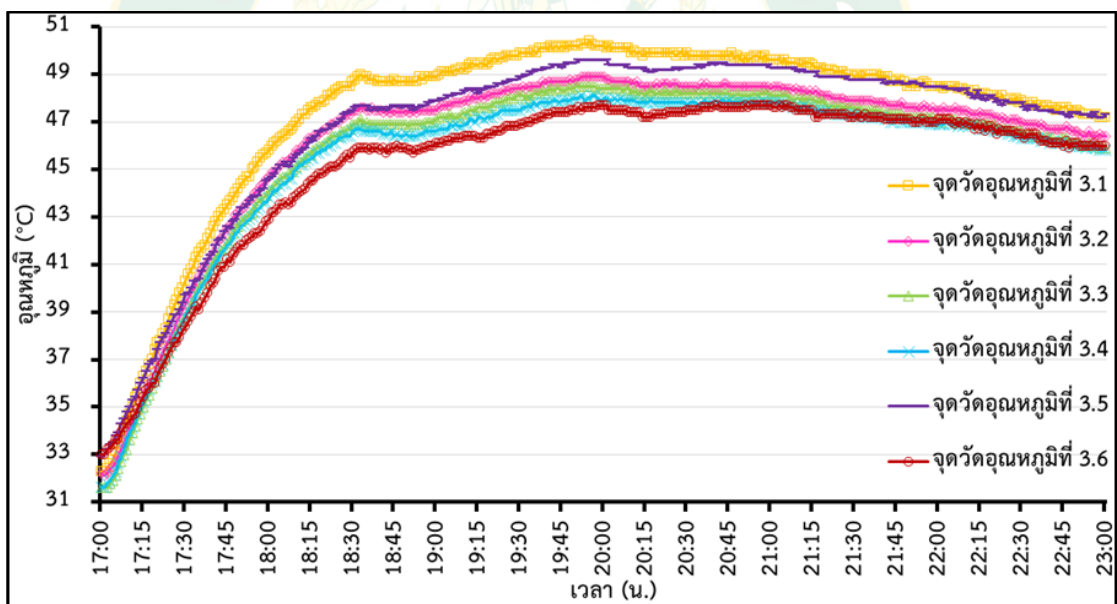
(ก) อุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน



(ข) อุณหภูมิวัสดุปลูก ที่ระดับความลึกเท่ากับ 6.8 cm (ชั้นที่ 1)



(ค) อุณหภูมิวัสดุปลูก ที่ระดับความลึกเท่ากับ 13.6 cm (ชั้นที่ 2)



(ง) อุณหภูมิวัสดุปลูก ที่ระดับความลึกเท่ากับ 20.4 cm (ชั้นที่ 3)

ภาพที่ 44 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกระบะชำเชื้อวัสดุปลูก กรณีอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 1.5 L/min

สำหรับการพิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิของวัสดุปลูกทั้ง 3 ระดับความลึกของกระบะทดสอบพบว่า ที่ระดับความลึกเท่ากับ 13.6 cm (ชั้นที่ 2) จะมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของวัสดุปลูกที่สูงที่สุด เนื่องจากเป็นจุดด้านในสุดของกระบะที่ใช้ในการอบวัสดุปลูกและกระบะหุ้มด้วยฉนวนอย่างดี สำหรับที่ระดับความลึกเท่ากับ 6.8 cm (ชั้นที่ 1) เมื่อมีการถ่ายเทความร้อน วัสดุปลูกจะมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดตรงลงมาจากระดับความลึกเท่ากับ 13.6 cm (ชั้นที่ 2) เนื่องจากเป็นส่วนที่อยู่ด้านบนสุดของกระบะที่ทำการทดสอบ ถึงแม้ว่าจะมีหุ้มฉนวนไว้อย่างดีแต่บริเวณนี้จะมีส่วนของฝาสำหรับเปิด-ปิด จึงมีผลให้เกิดการสูญเสียความร้อนในส่วนของขอบฝาของกระบะทดสอบ และในระดับความลึกเท่ากับ 20.4 cm (ชั้นที่ 3) ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ลึกที่สุด เมื่อมีการถ่ายเทความร้อนวัสดุปลูกจะมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับระดับความลึกที่ 6.8 cm (ชั้นที่ 1) และ 13.6 cm (ชั้นที่ 2) เนื่องจากด้านใต้ของกระบะที่ได้ทำการทดสอบไม่มีการหุ้มฉนวนกันความร้อนเพราะเป็นส่วนที่มีไว้สำหรับการดึงสไลด์เพื่อทำการเปลี่ยนถ่ายวัสดุปลูกหลังจากการอบเสร็จเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ดังนั้นจึงส่งผลให้วัสดุปลูกที่ระดับความลึกนี้เกิดการสูญเสียความร้อน

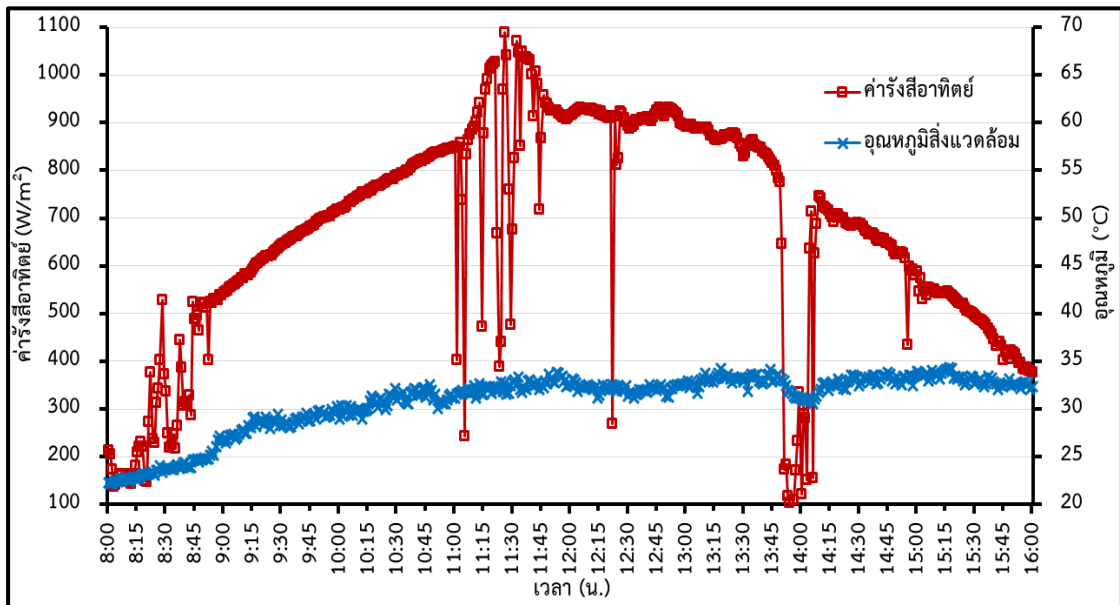
ข้อสังเกตอีกประการหนึ่งที่ได้จากการศึกษาพบว่า ในช่วงแรกจะมีการถ่ายเทความร้อนจากถังที่ 1 มาถังที่ 2 เพียงครั้งเดียวเท่านั้น หลังจากนั้นจะเป็นการถ่ายเทความร้อนระหว่างถังเก็บน้ำร้อนที่ 2 และถังเก็บน้ำร้อนที่ 3 โดยจะหมุนเวียนสลับสับเปลี่ยนกันไปจากน้ำร้อนถังหนึ่งไปสู่อีกถังหนึ่ง การทำงานของระบบเช่นนี้ทำให้พบว่า อุณหภูมิน้ำร้อนที่ไหลเข้าและไหลออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในรอบการทำงานช่วงแรกๆ จะมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นทุกๆ ที่ไม่มีแหล่งความร้อนใดมาทำการถ่ายเทความร้อนให้แก่ น้ำ ซึ่งสาเหตุเกิดจากการที่ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนก่อนที่จะทำการทดสอบมีน้ำเย็นตกค้างในระบบท่อ ส่งผลให้น้ำร้อนที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และไหลเข้าสู่ถังเก็บน้ำร้อนมีการแยกชั้นกันระหว่างอุณหภูมิ โดยน้ำร้อนจากข้างล่างถึงจะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าด้านบนถึงในช่วงแรกๆของการทดสอบระบบ และตัวอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนี้ได้ออกแบบโดยการปล่อยน้ำร้อนจากข้างล่างถึงไหลเข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และเมื่อมีการหมุนเวียนสลับเปลี่ยนน้ำร้อนไปเรื่อยๆ จะพบว่า อุณหภูมิของน้ำจะเริ่มมีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันตลอดทั้งถัง และไม่มีการแยกชั้นระหว่างอุณหภูมิในถังเก็บน้ำร้อน

2.2.2 ผลการทดสอบอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

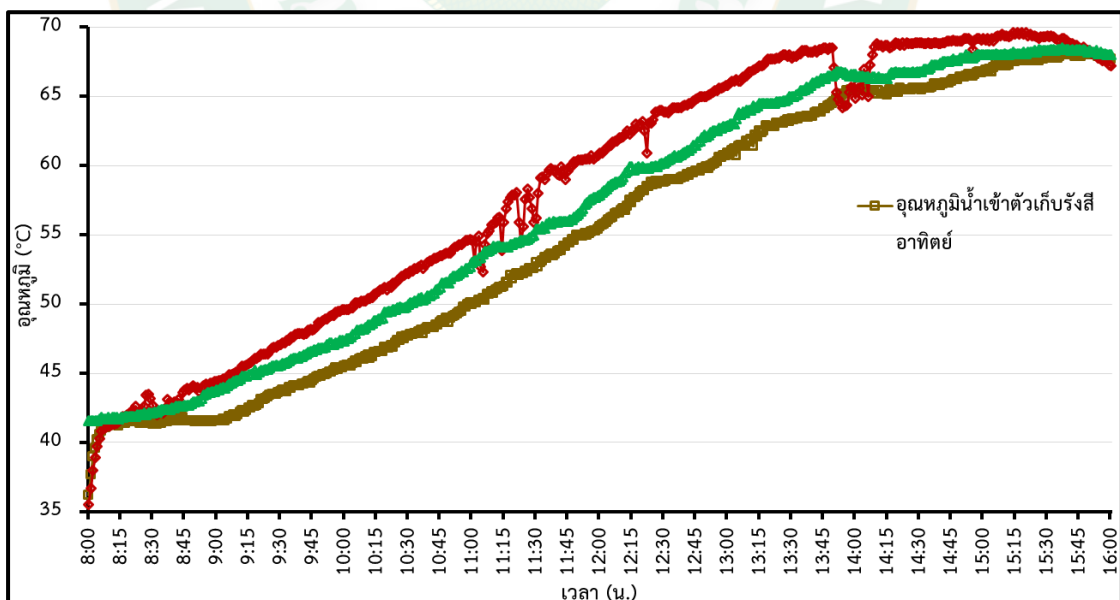
เท่ากับ 2 L/min

ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เริ่มทำงานตั้งแต่เวลา 8:00-16:00 น. จากการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์ตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 671.99 W/m^2 และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 30.78°C แสดงดังภาพที่ 45 (ก) อุณหภูมิน้ำเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 36.2°C อุณหภูมิน้ำออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 35.5°C และอุณหภูมิน้ำในถัง

เก็บน้ำร้อนมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 41.6°C จนเมื่อเวลา 16:00 น. ถึงเก็บน้ำร้อนมีอุณหภูมิน้ำร้อนสะสมเท่ากับ 68°C แสดงดังภาพที่ 45 (ข) จึงได้ทำการใช้ฮีตเตอร์เพื่อเป็นแหล่งความร้อนเสริมให้แก่ น้ำร้อน ด้วยพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.6 kWh เพื่อให้ได้น้ำร้อนที่มีอุณหภูมิเท่ากับ 70°C



(ก) ค่ารังสีอาทิตย์ และค่ารังสีอาทิตย์วิกฤติ

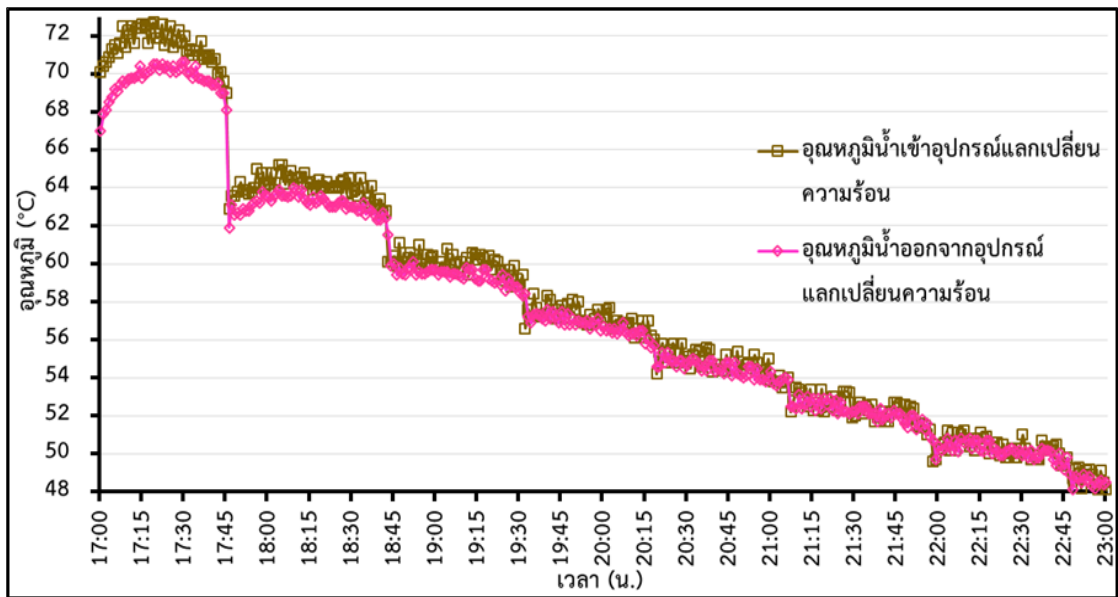


(ข) อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

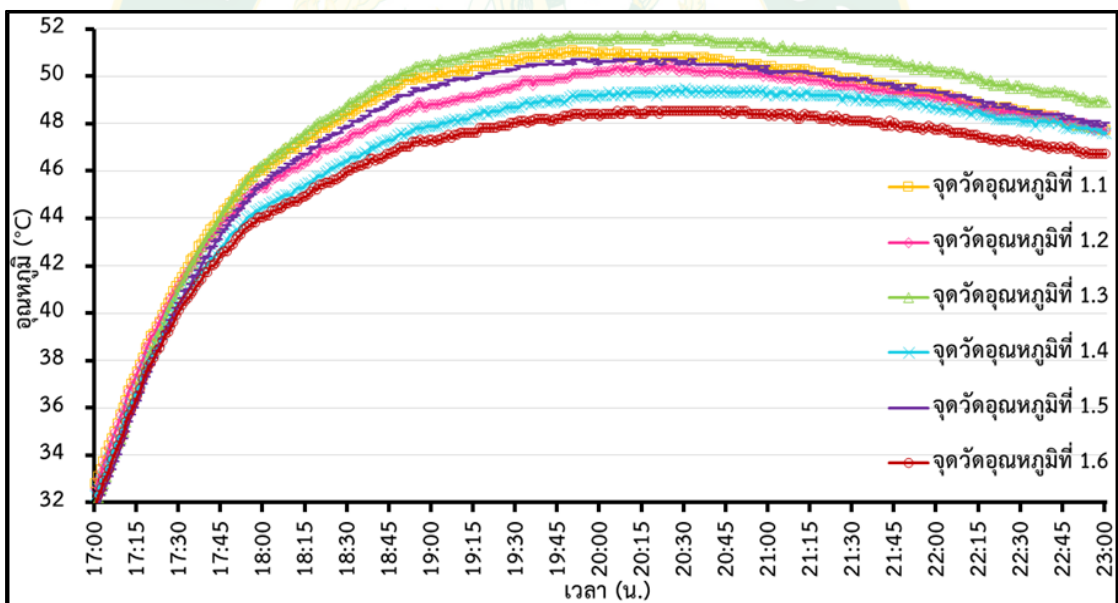
ภาพที่ 45 ผลการทดสอบระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 2 L/min

ในการทดสอบอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่เท่ากับ 2 L/min วัสดุปลูกที่นำมาทดสอบมีค่าเฉลี่ยความชื้นเท่ากับ 15.5%wb ทำการทดสอบที่ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 23.2°C จากการศึกษาพบว่า สามารถนำน้ำร้อนมาหมุนเวียนเข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้ทั้งหมด 7 รอบ โดยรอบที่ 1 ช่วงเวลา 17:00-17:45 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 71.44°C และ 69.66°C ตามลำดับ รอบที่ 2 ช่วงเวลา 17:46-18:43 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 63.99°C และ 63.12°C ตามลำดับ รอบที่ 3 ช่วงเวลา 18:44-19:31 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 60.01°C และ 59.39°C ตามลำดับ รอบที่ 4 ช่วงเวลา 19:32-20:19 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 57.1°C และ 56.74°C ตามลำดับ รอบที่ 5 ช่วงเวลา 20:20-21:07 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 54.68°C และ 54.4°C ตามลำดับ รอบที่ 6 ช่วงเวลา 21:08-21:58 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 52.35°C และ 52.16°C ตามลำดับ และรอบที่ 7 ช่วงเวลา 21:59-23:00 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 49.96°C และ 49.80°C ตามลำดับ หลังจากนั้นจึงหยุดทำการหมุนเวียนน้ำร้อนในระบบ ซึ่งผลของอุณหภูมิน้ำเข้าและน้ำออก อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แสดงดังภาพที่ 46 (ก)

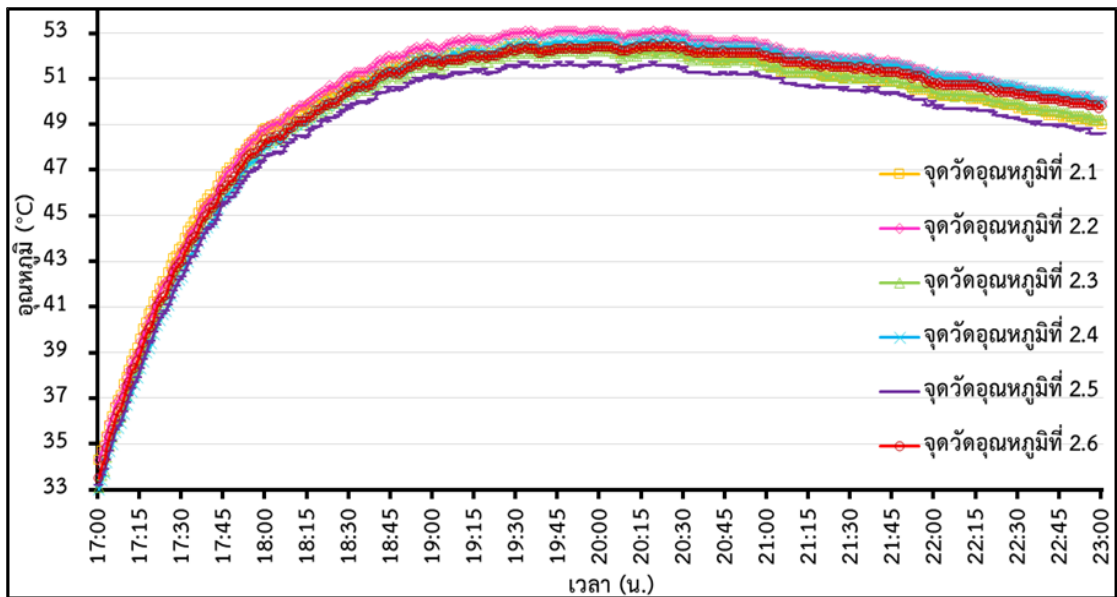
เมื่อทำการพิจารณาอุณหภูมิของวัสดุปลูกในแต่ละระดับความลึกของกระบะทดสอบ และแต่ละตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิของวัสดุปลูกพบว่า ที่ความลึกเท่ากับ 6.8 cm (ชั้นที่ 1) วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 32.18°C โดยวัสดุปลูกตำแหน่งจุดวัดที่ 3 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 48.7°C และสูงกว่าตำแหน่งจุดวัดอื่นๆ ตั้งแต่ 0.6-2.6°C แสดงดังภาพที่ 46 (ข) ที่ระดับความลึกเท่ากับ 13.6 cm (ชั้นที่ 2) วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 33.57°C โดยวัสดุปลูกตำแหน่งจุดวัดที่ 2 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 50.3°C และสูงกว่าตำแหน่งจุดวัดอื่นๆ ตั้งแต่ 0.4-1.3°C แสดงดังภาพที่ 46 (ค) และที่ระดับความลึกเท่ากับ 20.4 cm (ชั้นที่ 3) วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 31.6°C โดยวัสดุปลูกตำแหน่งจุดวัดที่ 1 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 46.1°C และสูงกว่าตำแหน่งจุดวัดอื่นๆ ตั้งแต่ 0.7-3.1°C แสดงดังภาพที่ 46 (ง)



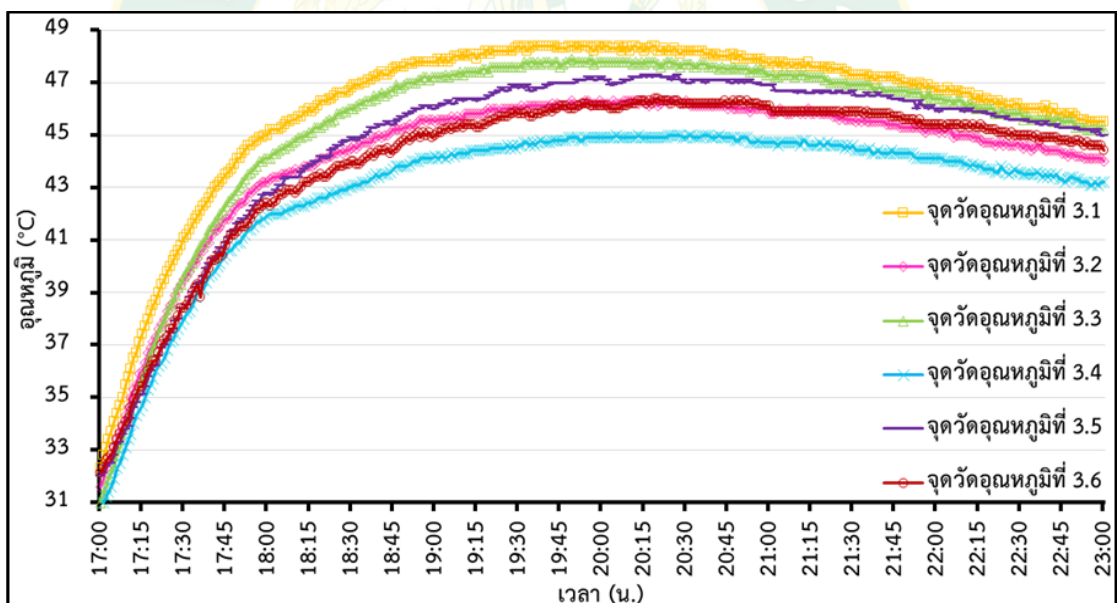
(ก) อุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน



(ข) อุณหภูมิวัสดุปลูก ที่ระดับความลึกเท่ากับ 6.8 cm (ชั้นที่ 1)



(ค) อุณหภูมิวัสดุปลูก ที่ระดับความลึกเท่ากับ 13.6 cm (ชั้นที่ 2)

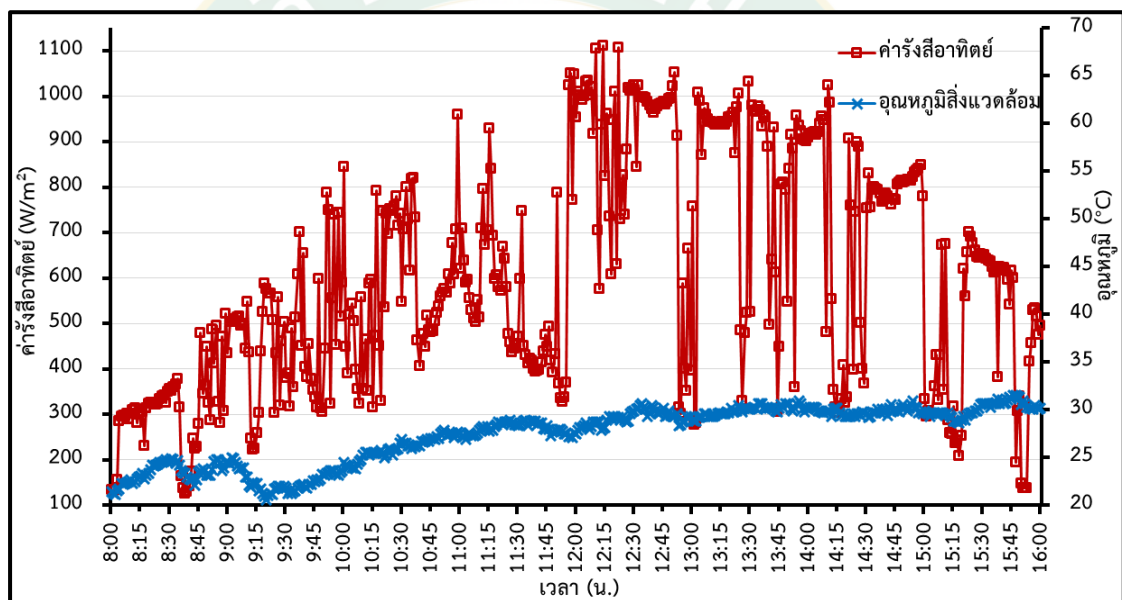


(ง) อุณหภูมิวัสดุปลูก ที่ระดับความลึกเท่ากับ 20.4 cm (ชั้นที่ 3)

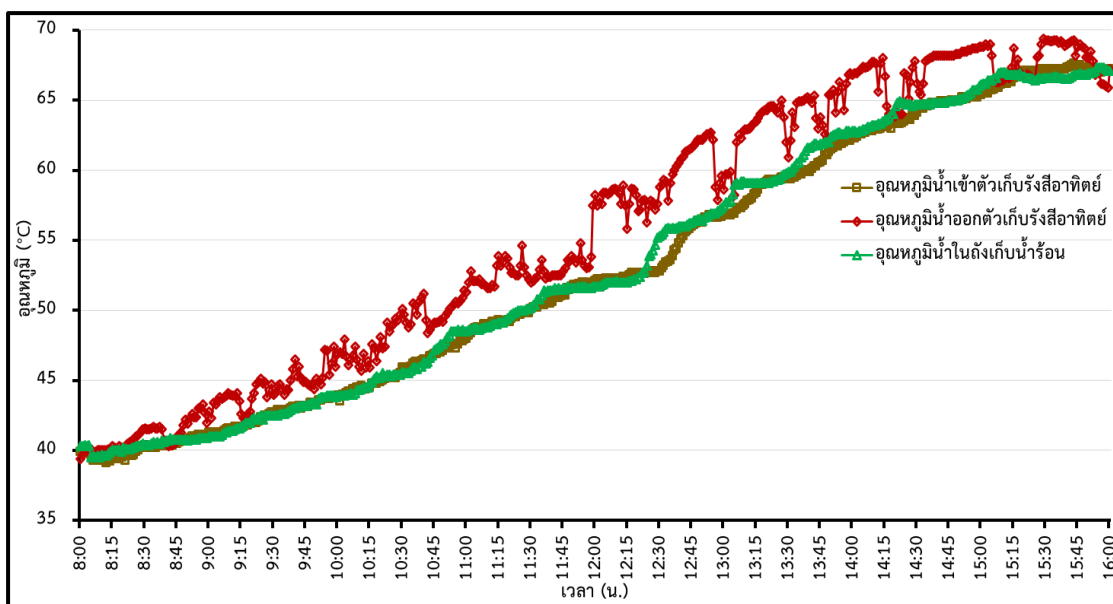
ภาพที่ 46 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกระบอกชำเชื้อวัสดุปลูก กรณีอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 2 L/min

2.2.3 ผลการทดสอบอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เท่ากับ 2.5 L/min

ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เริ่มทำงานตั้งแต่เวลา 8:00-16:00 น. จากการศึกษาพบว่า ค่ารังสีอาทิตย์ตลอดทั้งวันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 601.5 W/m^2 และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 27.38°C แสดงดังภาพที่ 47 (ก) อุณหภูมิน้ำเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 39.9°C อุณหภูมิน้ำออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 39.4°C และอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 40.3°C จนเมื่อเวลา 16:00 น. ถึงเก็บน้ำร้อนมีอุณหภูมิน้ำร้อนสะสมเท่ากับ 67.1°C แสดงดังภาพที่ 47 (ข) จึงได้ทำการใช้ฮีตเตอร์เพื่อเป็นแหล่งความร้อนเสริมให้แก่น้ำร้อนด้วยพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.87 kWh เพื่อให้ได้น้ำร้อนที่มีอุณหภูมิเท่ากับ 70°C



(ก) ค่ารังสีอาทิตย์ และค่ารังสีอาทิตย์วิกฤติ



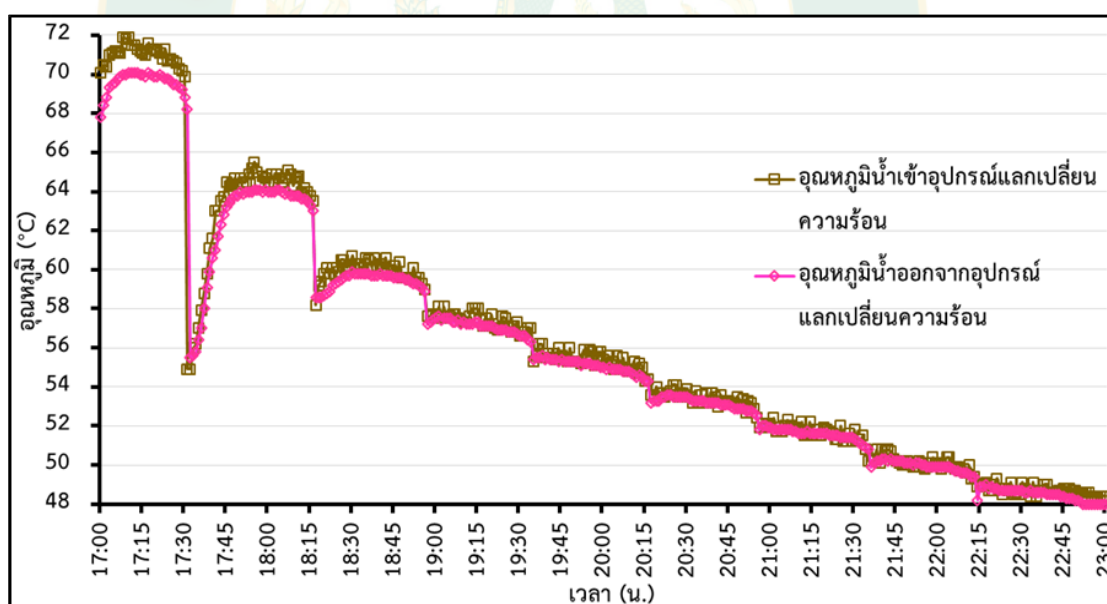
(ข) อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ภาพที่ 47 ผลการทดสอบระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 2.5 L/min

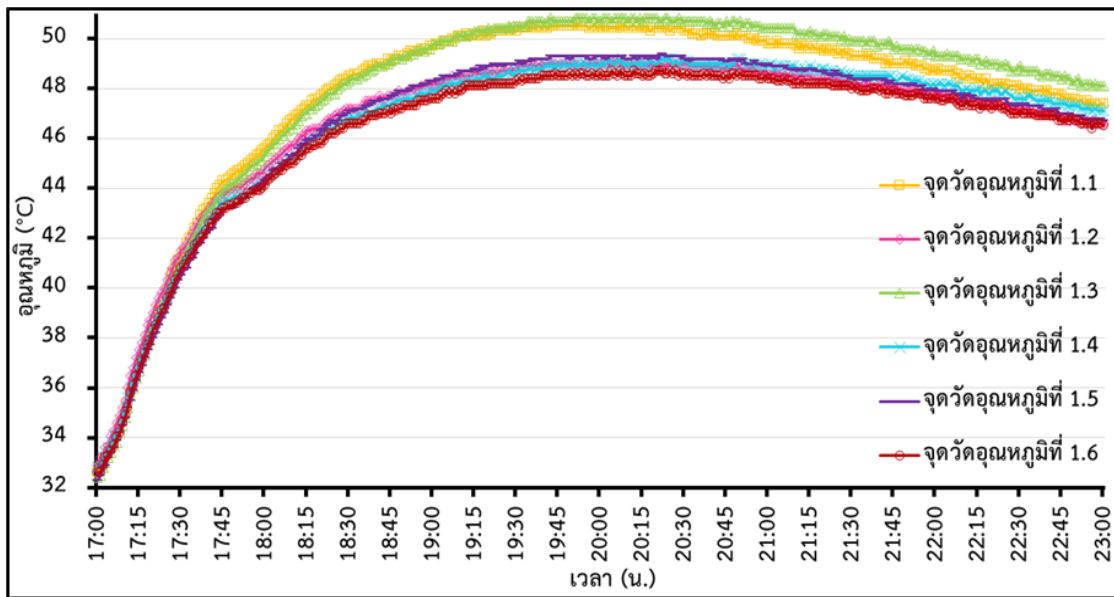
ในการทดสอบอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่เท่า 2.5 L/min วัสดุปลูกที่นำมาทดสอบมีค่าเฉลี่ยความชื้นเท่ากับ 15.3%wb ทำการทดสอบที่ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 23.5°C จากการศึกษาพบว่า สามารถนำน้ำร้อนมาหมุนเวียนเข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้ทั้งหมด 9 รอบ โดยรอบที่ 1 ช่วงเวลา 17:00-17:31 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 70.52°C และ 69.59°C ตามลำดับ รอบที่ 2 ช่วงเวลา 17:32-18:16 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 63.18°C และ 62.4°C ตามลำดับ รอบที่ 3 ช่วงเวลา 18:17-18:56 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 59.95°C และ 59.44°C ตามลำดับ รอบที่ 4 ช่วงเวลา 18:57-19:34 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 57.4°C และ 57.09°C ตามลำดับ รอบที่ 5 ช่วงเวลา 19:35-20:15 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 55.41°C และ 55.09°C ตามลำดับ รอบที่ 6 ช่วงเวลา 20:16-20:54 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 53.49°C และ 53.25°C ตามลำดับ รอบที่ 7 ช่วงเวลา 20:55-21:35 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 51.7°C และ 51.59°C ตามลำดับ รอบที่ 8 ช่วงเวลา 21:36-22:15 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากอุปกรณ์

แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 50.04°C และ 49.88°C ตามลำดับ และรอบที่ 9 ช่วงเวลาที่ 22:16-23:00 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 48.7°C และ 48.47°C ตามลำดับ หลังจากนั้นจึงหยุดทำการหมุนเวียนน้ำร้อนในระบบ ซึ่งผลของอุณหภูมิน้ำเข้าและน้ำออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แสดงดังภาพที่ 48 (ก)

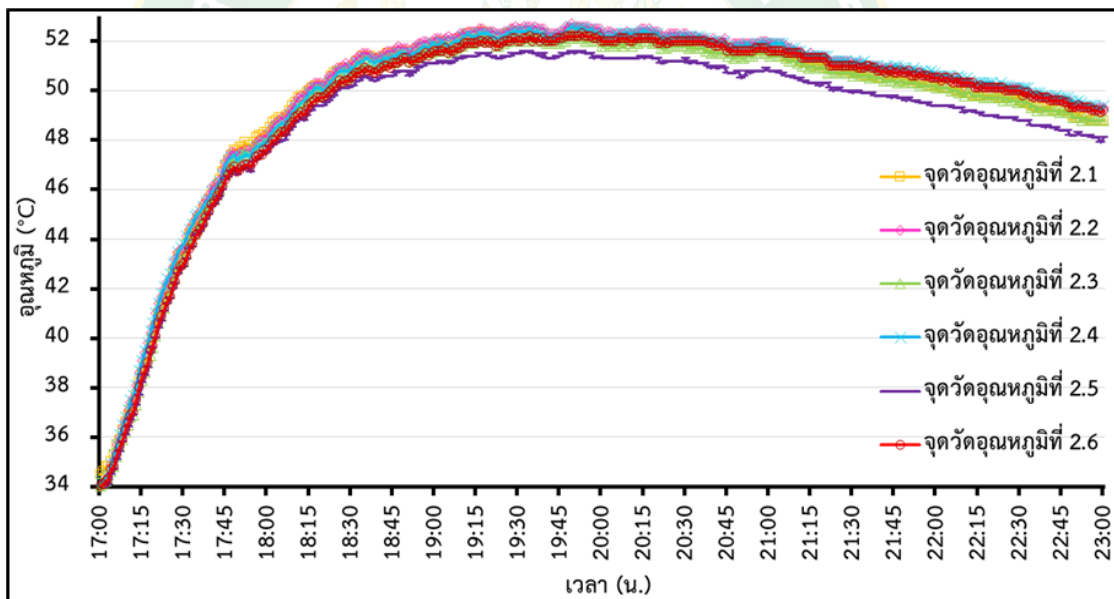
เมื่อพิจารณาอุณหภูมิของวัสดุปลูกในแต่ละระดับความลึกของกระบะทดสอบ และแต่ละตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิของวัสดุปลูกพบว่า ที่ระดับความลึกเท่ากับ 6.8 cm (ชั้นที่ 1) วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 32.6°C โดยวัสดุปลูกตำแหน่งที่ 3 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 48°C และสูงกว่าตำแหน่งจุดวัดอื่นๆ ตั้งแต่ $0.3-1.7^{\circ}\text{C}$ แสดงดังภาพที่ 48 (ข) ที่ระดับความลึกเท่ากับ 13.6 cm (ชั้นที่ 2) วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 34.03°C โดยวัสดุปลูกตำแหน่งจุดวัดที่ 2 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 49.8°C และสูงกว่าตำแหน่งจุดวัดอื่นๆ ตั้งแต่ $0.1-1^{\circ}\text{C}$ แสดงดังภาพที่ 48 (ค) และที่ระดับความลึกเท่ากับ 20.4 cm (ชั้นที่ 3) วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 33.17°C โดยวัสดุปลูกตำแหน่งจุดวัดที่ 5 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 46.2°C และสูงกว่าตำแหน่งจุดวัดอื่นๆ ตั้งแต่ $1.1-2.2^{\circ}\text{C}$ ดังภาพที่ 48 (ง)



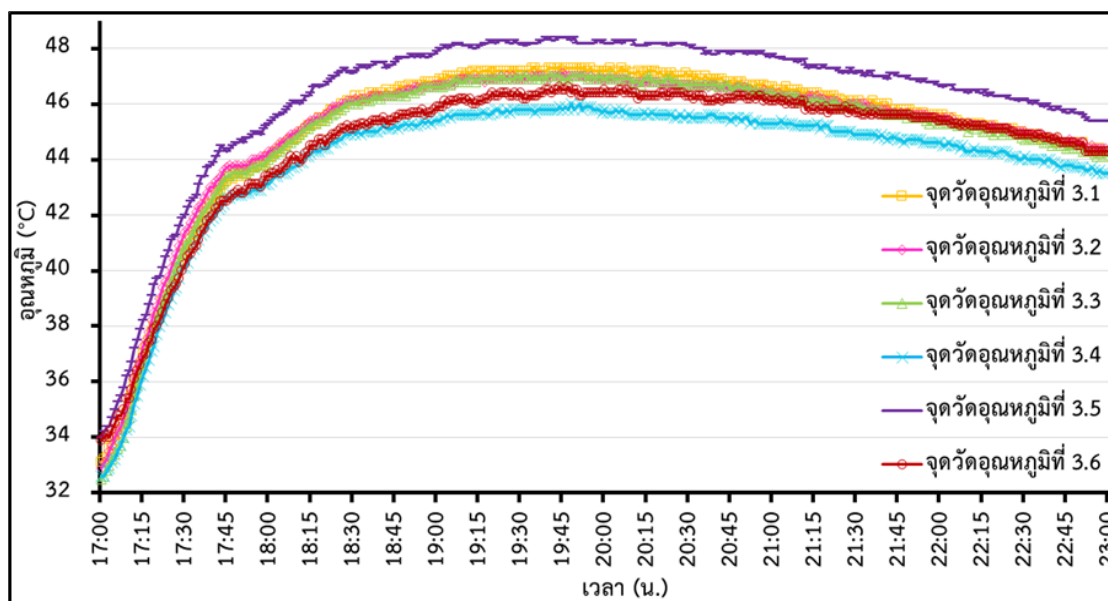
(ก) อุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน



(ข) อุณหภูมิวัสดุปลูก ที่ระดับความลึกเท่ากับ 6.8 cm (ชั้นที่ 1)



(ค) อุณหภูมิวัสดุปลูก ที่ระดับความลึกเท่ากับ 13.6 cm (ชั้นที่ 2)

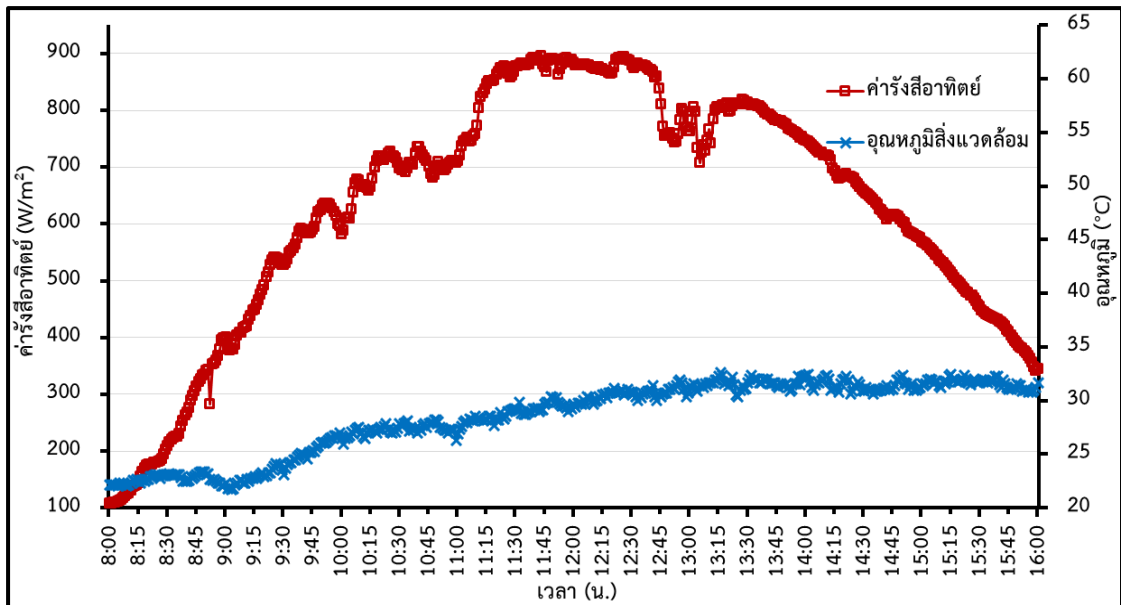


(ง) อุณหภูมิวัสดุปลูก ที่ระดับความลึกเท่ากับ 20.4 cm (ชั้นที่ 3)

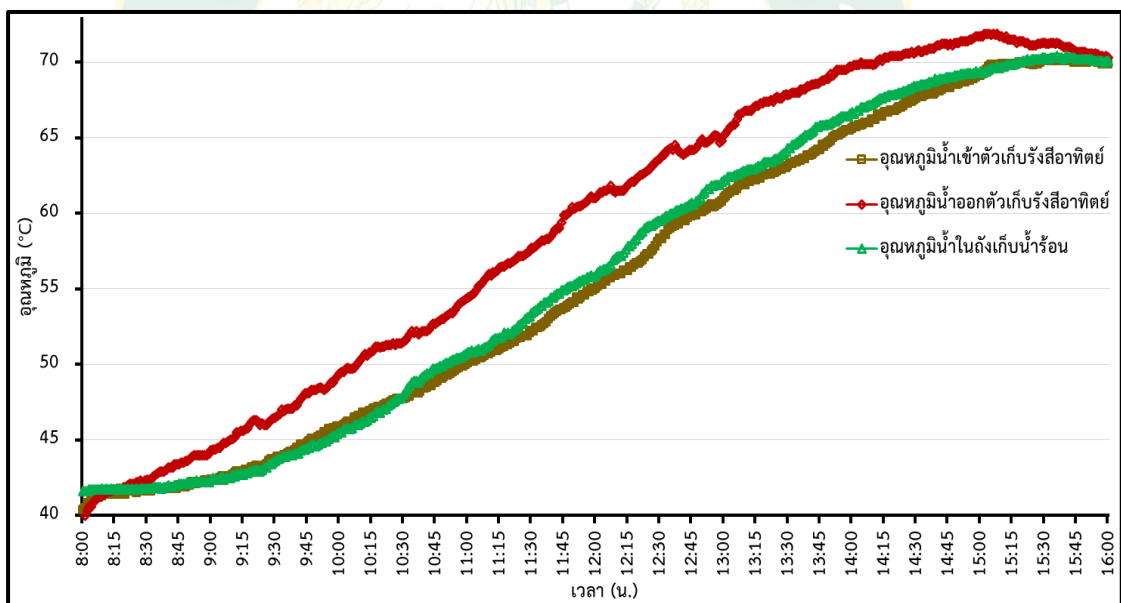
ภาพที่ 48 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกระบะชำเชื้อวัสดุปลูก กรณีอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 2.5 L/min

2.2.4 ผลการทดสอบอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 3 L/min

ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ทำงานตั้งแต่วันที่ 8:00-16:00 น. จากการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์ตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 629.8 W/m^2 และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 28.52°C แสดงดังภาพที่ 49 (ก) อุณหภูมิน้ำเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 40.4°C อุณหภูมิน้ำออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 39.5°C และอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 41.6°C จนเมื่อเวลา 16:00 น. ถังเก็บน้ำร้อนมีอุณหภูมิที่มากกว่าหรือเท่ากับ 70°C แสดงดังภาพที่ 49 (ข) ในกรณีนี้ถังเก็บน้ำร้อนมีอุณหภูมิที่มากกว่าหรือเท่ากับ 70°C จึงไม่มีการใช้ฮีตเตอร์เป็นแหล่งความร้อนเสริม



(ก) ค่ารังสีอาทิตย์ และค่ารังสีอาทิตย์วิกฤติ



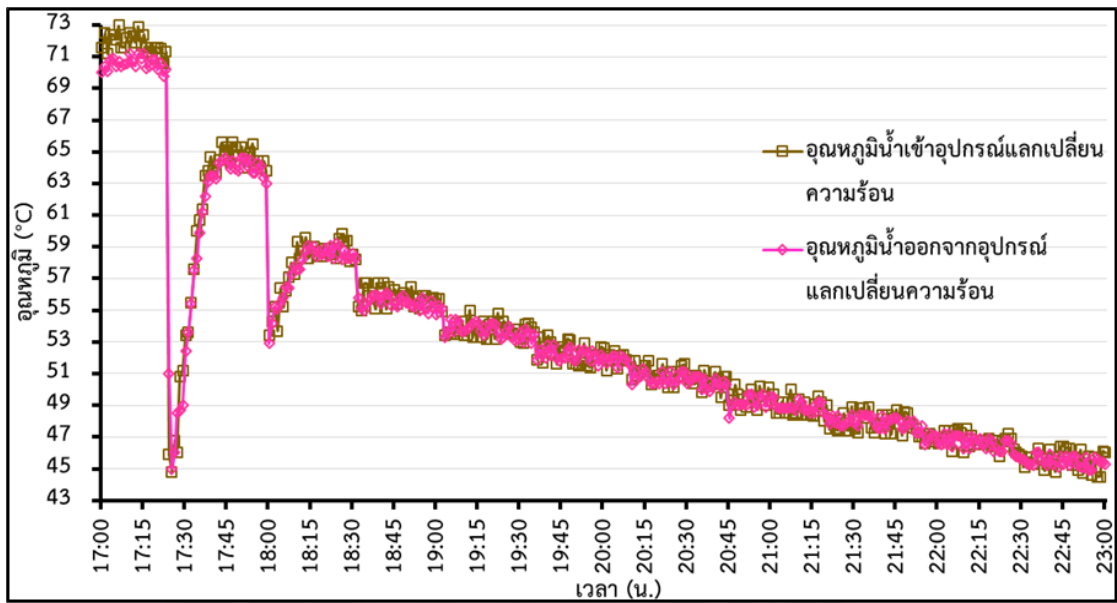
(ข) อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ภาพที่ 49 ผลการทดสอบระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 3 L/min

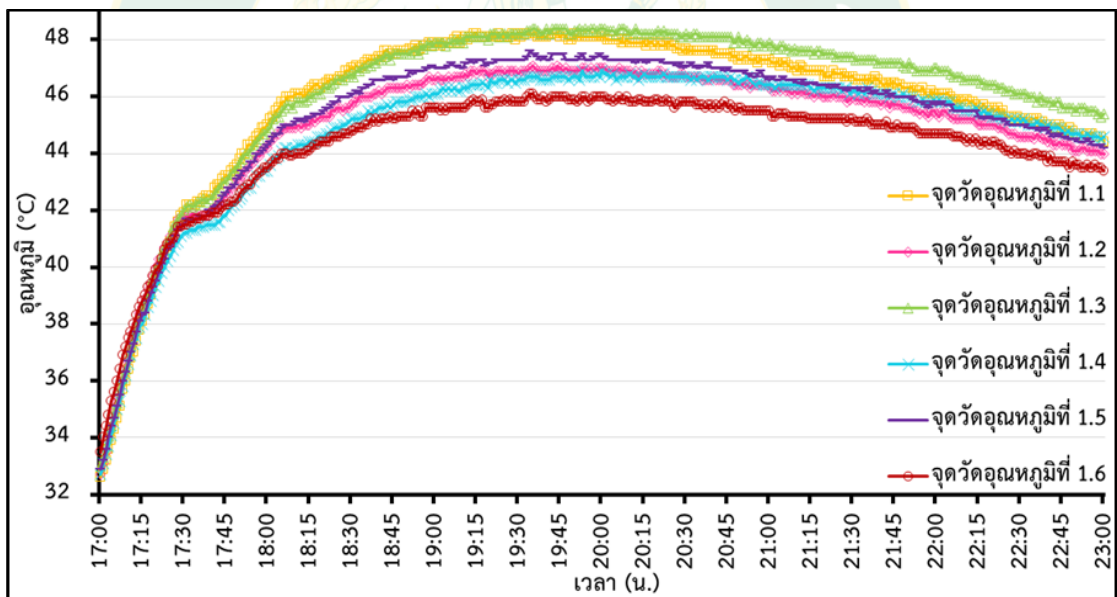
ในการทดสอบอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 3 L/min วัสดุปลูกที่นำมาทดสอบมีค่าเฉลี่ยความชื้นเท่ากับ 15.3%wb ทำการทดสอบที่ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 23.6°C จากการศึกษาพบว่า สามารถนำน้ำร้อนมาหมุนเวียนเข้าสู่อุปกรณ์

แลกเปลี่ยนความร้อนได้ทั้งหมด 11 รอบ โดยรอบที่ 1 ช่วงเวลา 17:00-17:22 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 71.9°C และ 70.58°C ตามลำดับ รอบที่ 2 ช่วงเวลา 17:23-17:59 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 60.65°C และ 60.16°C ตามลำดับ รอบที่ 3 ช่วงเวลา 18:00-18:29 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 57.79°C และ 57.60°C ตามลำดับ รอบที่ 4 ช่วงเวลา 18:30-19:05 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 55.78°C และ 55.49°C ตามลำดับ รอบที่ 5 ช่วงเวลา 19:06-19:40 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 53.63°C และ 53.5°C ตามลำดับ รอบที่ 6 ช่วงเวลา 19:41-20:11 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 52.11°C และ 51.98°C ตามลำดับ รอบที่ 7 ช่วงเวลา 20:12-20:45 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 50.75°C และ 50.51°C ตามลำดับ รอบที่ 8 ช่วงเวลา 20:26-21:20 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 49.14°C และ 49.03°C ตามลำดับ รอบที่ 9 ช่วงเวลา 21:21-21:55 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 47.89°C และ 47.84°C ตามลำดับ รอบที่ 10 ช่วงเวลา 21:56-22:27 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 46.81°C และ 46.68°C ตามลำดับ และรอบที่ 11 ช่วงเวลา 22:28-23:00 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 45.57°C และ 45.47°C ตามลำดับ หลังจากนั้นจึงหยุดทำการหมุนเวียนน้ำร้อนในระบบ ซึ่งผลของอุณหภูมิน้ำเข้าและน้ำออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แสดงดังภาพที่ 50 (ก)

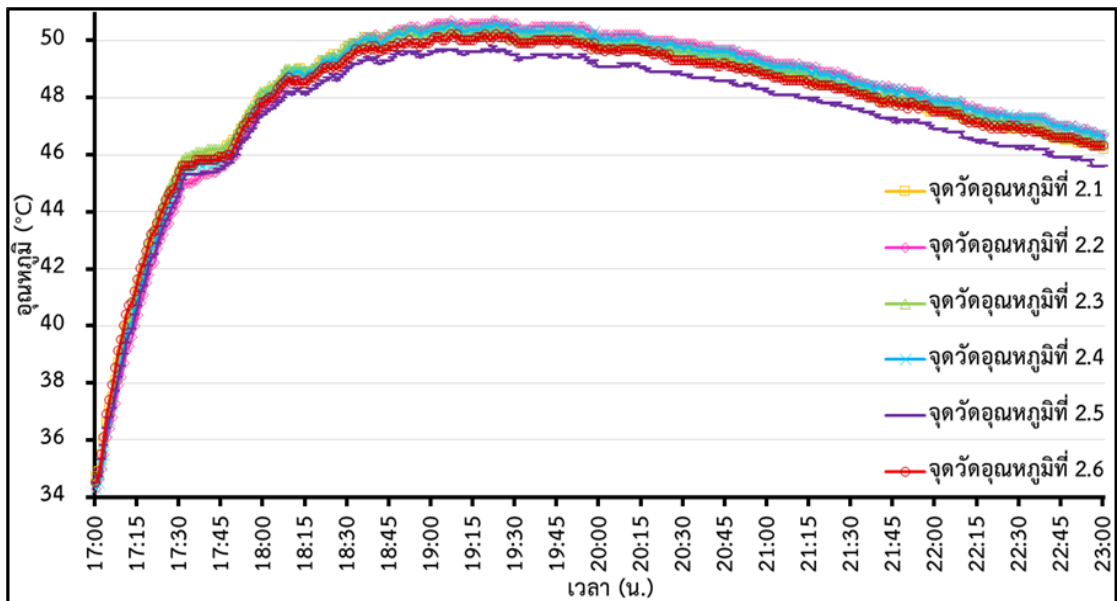
เมื่อทำการพิจารณาอุณหภูมิของวัสดุปลูกในแต่ละระดับความลึกของกระบะทดสอบ และแต่ละตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิของวัสดุปลูกพบว่า ที่ความลึกเท่ากับ 6.8 cm (ชั้นที่ 1) วัสดุปลูกมีอุณหภูมิเฉลี่ยเริ่มต้นเท่ากับ 32.9°C โดยวัสดุปลูกตำแหน่งจุดวัดที่ 3 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 46.2°C และสูงกว่าตำแหน่งจุดวัดอื่นๆ ตั้งแต่ $0.4-1.9^{\circ}\text{C}$ แสดงดังภาพที่ 50 (ข) ที่ระดับความลึกเท่ากับ 13.6 cm (ชั้นที่ 2) วัสดุปลูกมีอุณหภูมิเฉลี่ยเริ่มต้นเท่ากับ 34.48°C โดยวัสดุปลูกตำแหน่งจุดวัดที่ 2 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 48.1°C และสูงกว่าตำแหน่งจุดวัดอื่นๆ ตั้งแต่ $1-1.8^{\circ}\text{C}$ แสดงดังภาพที่ 50 (ค) และที่ระดับความลึกเท่ากับ 20.4 cm (ชั้นที่ 3) วัสดุปลูกมีอุณหภูมิเฉลี่ยเริ่มต้นเท่ากับ 32.92°C โดยวัสดุปลูกตำแหน่งจุดวัดที่ 5 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 44.2°C และสูงกว่าตำแหน่งจุดวัดอื่นๆ ตั้งแต่ $0.1-2.5^{\circ}\text{C}$ แสดงดังภาพที่ 50 (ง)



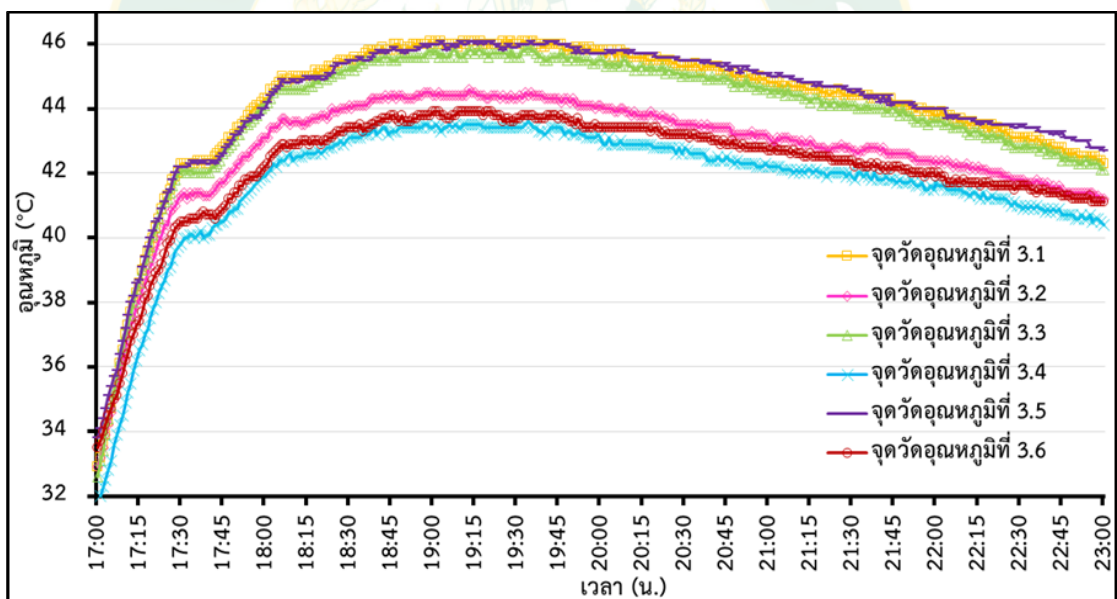
(ก) อุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน



(ข) อุณหภูมิวัสดุปลูก ที่ระดับความลึกเท่ากับ 6.8 cm (ชั้นที่ 1)



(ค) อุณหภูมิวัสดุปลูก ที่ระดับความลึกเท่ากับ 13.6 cm (ชั้นที่ 2)



(ง) อุณหภูมิวัสดุปลูก ที่ระดับความลึกเท่ากับ 20.4 cm (ชั้นที่ 3)

ภาพที่ 50 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกระบะฆ่าเชื้อวัสดุปลูก กรณีอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 3 L/min

2.2.5 การวิเคราะห์ผลการทดสอบการหาอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

การวิเคราะห์ผลการทดสอบการหาอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของวัสดุปลูกในแต่ละระดับความลึกของกระบอกทดสอบ รวมถึงระยะเวลาที่สามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ของแต่ละอัตราการไหล สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

ที่ระดับความลึกเท่ากับ 6.8 cm (ชั้นที่ 1) อัตราการไหล 1.5 L/min สามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ได้เวลาที่นานที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการไหลของน้ำร้อนที่ 2 L/min 2.5 L/min และ 3 L/min ตามลำดับ โดยแต่ละอัตราการไหลสามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ได้ที่ 4 hr 53 min 4 hr 44 min 4 hr 51 min และ 3 hr 5 min ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ระยะเวลาที่สามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ที่อัตราการไหลต่างๆ ที่ระดับความลึกเท่ากับ 6.8 cm (ชั้นที่ 1)

| ระดับความลึกเท่ากับ 6.8 cm (ชั้นที่ 1) | | |
|--|---|------------------|
| อัตราการไหลของน้ำร้อน (L/min) | ระยะเวลาที่สามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C (hr:min) | ตั้งแต่เวลา (น.) |
| 1.5 | 4 hr 53 min | 18:07-23:00 |
| 2 | 4 hr 44 min | 18:16-23:00 |
| 2.5 | 4 hr 51 min | 18:09-23:00 |
| 3 | 3 hr 5 min | 18:36-21:41 |

ที่ระดับความลึกเท่ากับ 13.6 cm (ชั้นที่ 2) อัตราการไหล 3 L/min สามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ได้เวลาที่นานที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการไหลของน้ำร้อนที่ 1.5 L/min 2 L/min และ 2.5 L/min ตามลำดับ โดยแต่ละอัตราการไหลสามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ได้ที่ 5 hr 14 min 5 hr 17 min 5 hr 21 min และ 5 hr 29 min ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ระยะเวลาที่สามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ที่อัตราการไหลต่างๆ ที่ระดับความลึกเท่ากับ 13.6 cm (ชั้นที่ 2)

| ระดับความลึกเท่ากับ 13.6 cm (ชั้นที่ 2) | | |
|---|---|------------------|
| อัตราการไหลของน้ำร้อน (L/min) | ระยะเวลาที่สามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C (hr:min) | ตั้งแต่เวลา (น.) |
| 1.5 | 5 hr 14 min | 17:46-23:00 |
| 2.0 | 5 hr 17 min | 17:43-23:00 |
| 2.5 | 5 hr 21 min | 17:39-23:00 |
| 3.0 | 5 hr 29 min | 17:31-23:00 |

ที่ระดับความลึกเท่ากับ 20.4 cm (ชั้นที่ 3) อัตราการไหล 1.5 L/min และ 2.5 L/min สามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ได้ที่ 4 hr 39 min และ 2 hr 54 min ตามลำดับ ส่วนที่อัตราการไหลที่ 2 L/min และ 3 L/min ไม่สามารถถ่ายเทความร้อนให้แก่วัสดุปลูกจนทุกจุดวัดอุณหภูมิมีอุณหภูมิที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ได้ เนื่องจากด้านใต้ของกระบะที่ได้ทำการทดสอบไม่มีการหุ้มฉนวนกันความร้อนเพราะเป็นส่วนที่มีไว้สำหรับการดึงสไลด์เพื่อทำการเปลี่ยนถ่ายวัสดุปลูกหลังจากการอบเสร็จเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ดังนั้นจึงส่งผลให้วัสดุปลูกที่ระดับความลึกนี้เกิดการสูญเสียความร้อนบางส่วน แสดงดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ระยะเวลาที่สามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ที่อัตราการไหลต่างๆ ที่ระดับความลึกเท่ากับ 20.4 cm (ชั้นที่ 3)

| ระดับความลึกเท่ากับ 20.4 cm (ชั้นที่ 3) | | |
|---|---|------------------|
| อัตราการไหลของน้ำร้อน (L/min) | ระยะเวลาที่สามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C (hr:min) | ตั้งแต่เวลา (น.) |
| 1.5 | 4 hr 39 min | 18:21-23:00 |
| 2.0 | ไม่สามารถถ่ายเทความร้อนให้แก่วัสดุปลูกจนทุกจุดวัดมีอุณหภูมิเฉลี่ยมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 45 | - |
| 2.5 | 2 hr 54 min | 18:34-21:28 |
| 3.0 | ไม่สามารถถ่ายเทความร้อนให้แก่วัสดุปลูกจนทุกจุดวัดมีอุณหภูมิเฉลี่ยมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 45°C | - |

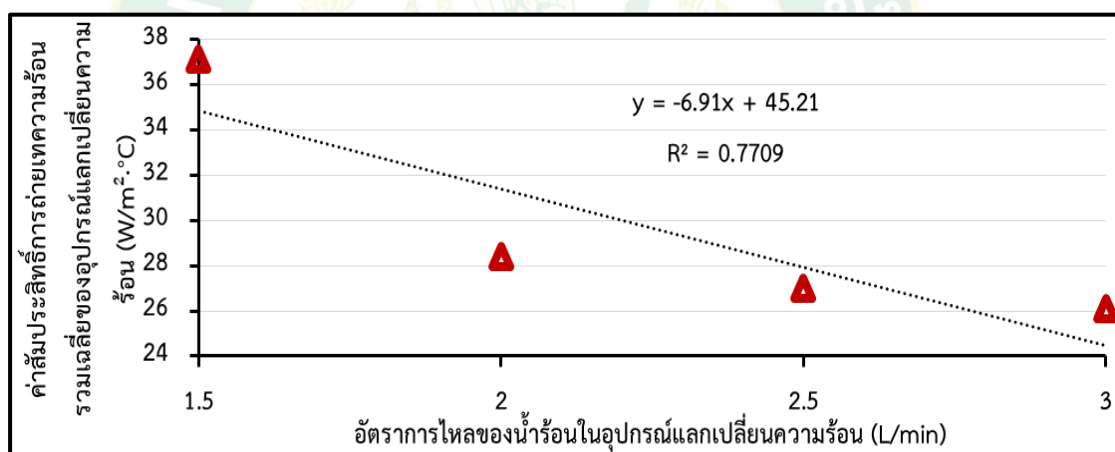
เมื่อพิจารณาผลของอัตราการไหลของน้ำร้อนที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของวัสดุปลูกร่วมด้วยพบว่า ที่ระดับความลึกเท่ากับ 6.8 cm (ชั้นที่ 1) และ 13.6 cm (ชั้นที่ 2) ที่อัตราการไหลเท่ากับ 1.5 L/min 2 L/min 2.5 L/min และ 3 L/min ตามลำดับ สามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ได้ในเวลาที่ไม่กี่ชั่วโมงที่ประมาณ 4-5 hr แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าที่อัตราการไหลเท่ากับ 3 L/min จะสามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ได้ในเวลาที่นานที่สุดในระดับความลึกที่ 13.6 cm (ชั้นที่ 2) เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการไหล 1.5 L/min 2 L/min และ 2.5 L/min แต่ที่ความลึกเท่ากับ 20.4 cm (ชั้นที่ 3) ไม่สามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ได้ จึงไม่ใช่ค่าอัตราการไหลที่เหมาะสมสำหรับอัตราการไหลของน้ำร้อนค่าอื่นๆ เมื่อพิจารณาค่าอุณหภูมิวัสดุปลูกที่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ร่วมกับระยะเวลาในการอบฆ่าเชื้อที่นานที่สุดที่สามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกพบว่า อัตราการไหลของน้ำร้อนที่ไหลเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 1.5 L/min คืออัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสมที่สุด

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไปยังวัสดุปลูกในแต่ละอัตราการไหลได้แก่ 1.5 L/min 2 L/min 2.5 L/min และ 3 L/min ตามลำดับ ซึ่งคำนวณจากสมการที่ (28) โดยวิเคราะห์ข้อมูลจากอุณหภูมิของวัสดุปลูกในแต่ละอัตราการไหลในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เริ่มต้นตั้งแต่วันที่ 17:00 น. จนถึงช่วงเวลาที่ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของวัสดุปลูกมีค่าที่สูงที่สุดพบว่า อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากับ 37.15 W/m²·°C 28.39 W/m²·°C 27.02 W/m²·°C และ 26.09 W/m²·°C ตามลำดับ โดยที่อัตราการไหล 2 L/min 2.5 L/min และ 3 L/min จะมีค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมต่ำกว่าหรือลดลงเป็น 30.86% 37.49% และ 42.39% เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 1.5 L/min แสดงดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไปยังวัสดุปลูกที่อัตราการไหลต่างๆ

| อัตราการไหลของน้ำร้อน (L/min) | สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (W/m ² ·°C) |
|-------------------------------|---|
| 1.5 | 37.15 |
| 2 | 28.39 |
| 2.5 | 27.02 |
| 3 | 26.09 |

จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไปยังวัสดุปลูก โดยทำการวิเคราะห์ตั้งแต่ระยะเวลา 17:00 น. จนถึงเวลาที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถถ่ายเทความร้อนให้แก่วัสดุปลูกจนมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิสูงสุด เนื่องจากว่าหลังจากนั้นวัสดุปลูกจะมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นผลมาจากค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของวัสดุปลูกมีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จึงส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนกับวัสดุปลูกมีค่าน้อยลงตามไปด้วย และเมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลมาทำการสร้างสมการเชิงถดถอยจะได้สมการเส้นตรงที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.77 และได้สมการ $Y = -6.91X + 45.21$ ซึ่งสามารถนำไปใช้ทำนายค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่อัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่าง 1.5-3 L/min แสดงดังภาพที่ 51



ภาพที่ 51 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

เมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกในแต่ละอัตราการไหลได้แก่ 1.5 L/min 2 L/min 2.5 L/min และ 3 L/min ตามลำดับ จากอัตราส่วนระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนกับปริมาณความร้อนจากแหล่งความร้อนซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นความร้อนที่ได้จากน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ รวมกับปริมาณความร้อนที่ได้รับจากฮีตเตอร์ที่ใช้เป็นแหล่งความร้อนเสริม แสดงดังตารางที่ 14 และ ตารางที่ 15 ตามลำดับ

ตารางที่ 14 อัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่อัตราการไหลต่างๆ

| อัตราการไหลของน้ำร้อน (L/min) | ความร้อนจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน Q_{HEX} (MJ) |
|----------------------------------|---|
| 1.5 | 2.32 |
| 2 | 1.92 |
| 2.5 | 1.69 |
| 3 | 1.27 |

ตารางที่ 15 ปริมาณความร้อนจากแหล่งความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่อัตราการไหลต่างๆ

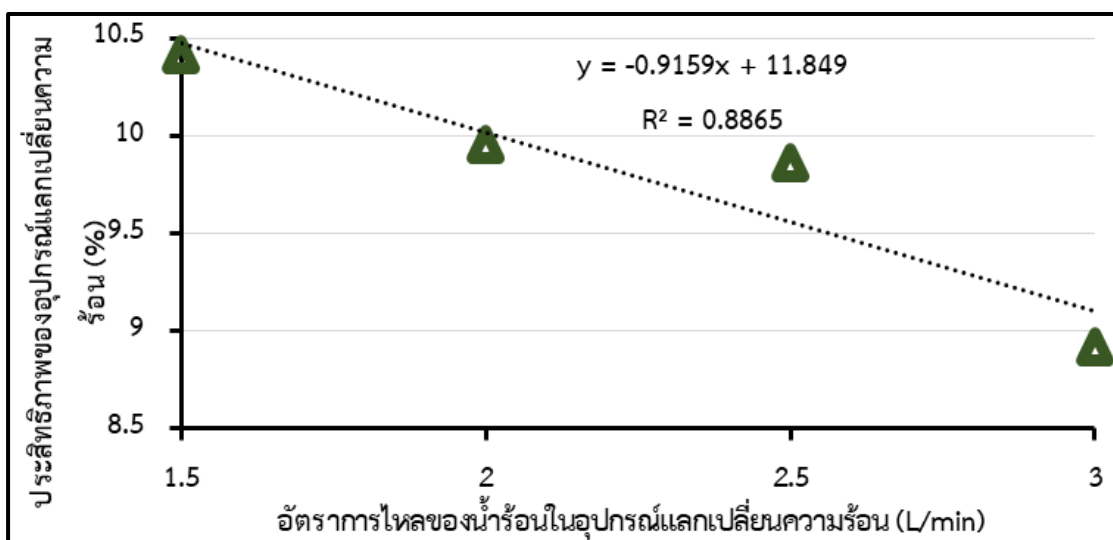
| อัตราการไหลของน้ำร้อน (L/min) | ความร้อนของถังเก็บน้ำ ร้อนจากระบบทำน้ำร้อน พลังงานแสงอาทิตย์ Q_s (MJ) | ความร้อนจากแหล่ง ความร้อนเสริม Q_{Heater} (MJ) | $Q_{Storage} + Q_{Heater}$ (MJ) |
|----------------------------------|--|--|------------------------------------|
| 1.5 | 14.78 | 7.51 | 22.29 |
| 2 | 17.17 | 2.15 | 19.33 |
| 2.5 | 13.96 | 3.12 | 17.08 |
| 3 | 14.30 | 0.00 | 14.30 |

เมื่อคำนวณค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกในแต่ละอัตราการไหลจากสมการที่ (30) พบว่า ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบฆ่าเชื้อวัสดุปลูกมีค่าเท่ากับ 10.42% 9.95% 9.86% และ 8.92% ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบฆ่าเชื้อวัสดุปลูกที่อัตราการไหลต่างๆ

| อัตราการไหลของน้ำร้อน (L/min) | ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบฆ่าเชื้อวัสดุปลูก (%) |
|----------------------------------|--|
| 1.5 | 10.42 |
| 2 | 9.95 |
| 2.5 | 9.86 |
| 3 | 8.92 |

เมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และค่าประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลมาทำการสร้างสมการเชิงถดถอยจะได้สมการเส้นตรงที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.88 และได้สมการสำหรับการทำนายประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่อัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่าง 1.5-3 L/min $Y = -0.9159X + 11.849$ แสดงดังภาพที่ 52



ภาพที่ 52 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบฆ่าเชื้อวัสดุปลูก

3. ผลการศึกษาค่าความชื้นในวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

ผลการทดสอบการหาค่าความชื้นในวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน สามารถแบ่งผลการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

- 1.) ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพ และคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุปลูกในแต่ละระดับค่าความชื้น
- 2.) ผลการทดสอบการหาค่าความชื้นในวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

3.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพ และคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุปลูกในแต่ละระดับค่าความชื้น

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุปลูกในแต่ละระดับค่าความชื้นได้แก่ 15%wb 25%wb 35%wb และ 45%wb ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า วัสดุปลูกสามารถอุ้มน้ำได้ดี และเริ่มจับตัวกันเป็นก้อนเมื่อมีค่าความชื้นที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งในขั้นตอนของการปรับระดับความชื้นในวัสดุปลูกต้องทำการตรวจวัดความชื้นเป็นระยะๆ เพื่อให้ได้ปริมาณความชื้นในวัสดุปลูกที่ต้องการและไม่ควรรดน้ำในปริมาณมากๆ ลงไปยังวัสดุปลูกโดยตรง เพราะจะทำให้วัสดุปลูกจับตัวกันเป็นก้อน ซึ่งมีผลต่อการควบคุมค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของวัสดุปลูก และเมื่อทำการทดสอบหาค่าการนำความร้อนของวัสดุปลูกตามมาตรฐาน ASTM C177 ในชุดทดสอบ Hot plate พบว่า อุณหภูมิฝั่ง Hot plate และอุณหภูมิฝั่ง Ambient ของวัสดุปลูกที่มีความหนาจากแผ่น Hot plate เท่ากับ 2.5 cm และวัสดุปลูกที่ใช้ในการทดสอบมีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเท่ากับ 1.5-2 kg แสดงดังตารางที่ 17 และ ตารางที่ 18 ตามลำดับ

ตารางที่ 17 อุณหภูมิฝั่ง Hot plate ของวัสดุปลูกในแต่ละระดับค่าความชื้น

| ความชื้นของ วัสดุปลูก (%wb) | อุณหภูมิฝั่ง Hot plate ของวัสดุปลูก (°C) | | | | | | ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C) |
|-----------------------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|---------------------------------------|
| | T _{h1} | T _{h2} | T _{h3} | T _{h4} | T _{h5} | เฉลี่ย | T _a |
| 15 | 79.69 | 65.80 | 68.35 | 76.35 | 73.57 | 72.75 | 20.99 |
| 25 | 63.71 | 54.28 | 56.58 | 62.77 | 60.03 | 59.47 | 19.89 |
| 35 | 59.80 | 50.40 | 52.69 | 58.52 | 55.55 | 55.39 | 21.85 |
| 45 | 58.90 | 48.43 | 50.53 | 57.27 | 54.52 | 53.93 | 21.38 |

ตารางที่ 18 อุณหภูมิฝั่ง Ambient ของวัสดุปลูกในแต่ละระดับค่าความชื้น

| ความชื้นของ วัสดุปลูก (%wb) | อุณหภูมิฝั่ง Ambient ของวัสดุปลูก (°C) | | | | | | ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C) |
|-----------------------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|---------------------------------------|
| | T _{c1} | T _{c2} | T _{c3} | T _{c4} | T _{c5} | เฉลี่ย | T _a |
| 15 | 41.18 | 36.51 | 37.09 | 37.12 | 40.68 | 38.52 | 20.99 |
| 25 | 37.76 | 33.92 | 36.95 | 33.02 | 36.20 | 35.57 | 19.89 |
| 35 | 38.76 | 38.71 | 36.62 | 34.35 | 38.54 | 37.19 | 21.85 |
| 45 | 36.50 | 35.82 | 32.74 | 37.85 | 36.61 | 35.90 | 21.38 |

จากตารางที่ 17 และตารางที่ 18 แสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิฝั่ง Hot plate และอุณหภูมิฝั่ง Ambient เมื่อเข้าสู่สภาวะคงที่ของการทดสอบหาค่าการนำความร้อนซึ่งเป็นคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุปลูก ซึ่งวัสดุปลูกในแต่ละระดับค่าความชื้นได้แก่ 15%wb 25%wb 35%wb และ 45%wb ตามลำดับ ทำการทดสอบที่ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 20.99°C 19.89°C 21.85°C และ 21.38°C ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิฝั่ง Hot plate ของวัสดุปลูกในแต่ละระดับค่าความชื้น เมื่อเข้าสู่สภาวะคงที่มีค่าเท่ากับ 72.75°C 59.47°C 55.39°C และ 53.93°C ตามลำดับ เมื่อทำการพิจารณาค่าเฉลี่ยอุณหภูมิฝั่ง Ambient ของวัสดุปลูกในแต่ละระดับค่าความชื้น เมื่อเข้าสู่สภาวะคงที่มีค่าเท่ากับ 38.52°C 35.57°C 37.19°C และ 35.90°C ลำดับ และเมื่อนำผลต่างของค่าเฉลี่ยอุณหภูมิทั้ง 2 ฝั่ง มาทำการคำนวณหาค่าการนำความร้อนของวัสดุปลูกจากสมการที่ (19) แสดงดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ผลการทดสอบค่าการนำความร้อนของวัสดุปลูกในแต่ละระดับค่าความชื้น

| ความชื้นของวัสดุปลูก (%wb) | ผลต่างค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิฝั่ง Hot plate และ Ambient (°C) | ค่าการนำความร้อนของวัสดุปลูก (W/m·°C) |
|----------------------------|---|---------------------------------------|
| 15 | 34.24 | 0.89 |
| 25 | 23.91 | 1.28 |
| 35 | 18.20 | 1.68 |
| 45 | 18.03 | 1.70 |

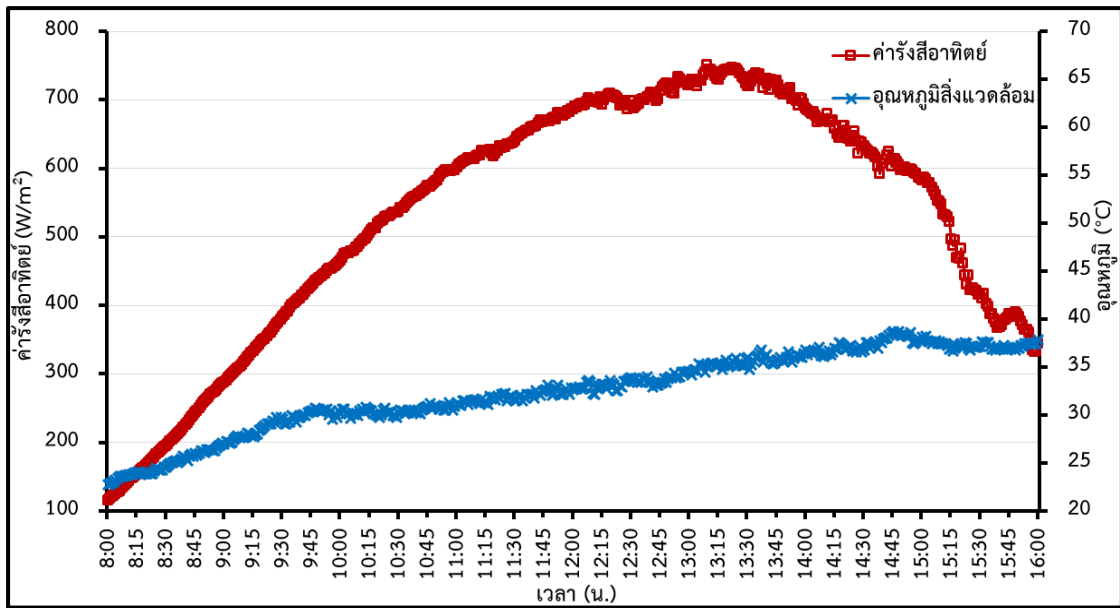
จากตารางที่ 19 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุปลูกที่นำมาทดสอบซึ่งวัสดุปลูกในแต่ละระดับค่าความชื้นได้แก่ 15%wb 25%wb 35%wb และ 45%wb ตามลำดับ มีผลผลต่างของค่าเฉลี่ยอุณหภูมิฝั่ง Hot plate และ Ambient เท่ากับ 34.24°C 23.91°C 18.20°C และ 18.03°C ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่าการนำความร้อนของวัสดุปลูกในแต่ละระดับค่าความชื้นมีค่าเท่ากับ 0.89 W/m·°C 1.28 W/m·°C 1.68 W/m·°C และ 1.70 W/m·°C ตามลำดับ โดยที่วัสดุปลูกความชื้น 25%wb 35%wb และ 45%wb จะมีค่าการนำความร้อนที่สูงกว่าหรือเพิ่มขึ้นเป็น 43.82% ,88.76% และ 91.01% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความชื้นของวัสดุปลูกเริ่มต้นเท่ากับ 15%wb ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ค่าความชื้นในวัสดุปลูกเมื่อมีค่าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้วัสดุปลูกมีค่าการนำความร้อนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

3.2. ผลการทดสอบการหาค่าความชื้นในวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ วัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

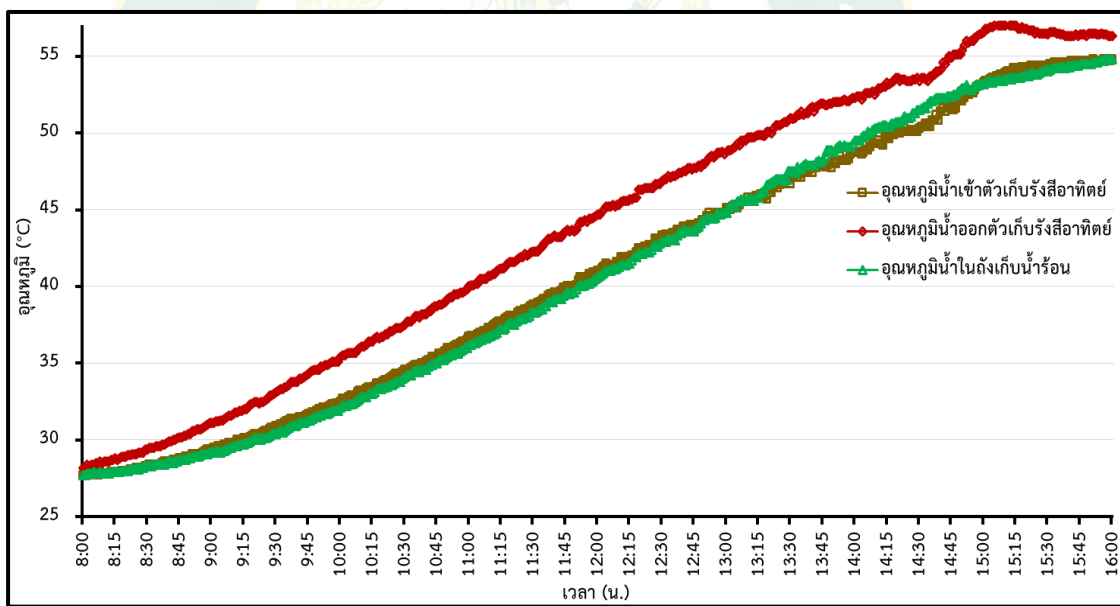
การทดสอบจะเริ่มต้นที่การผลิตน้ำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงเวลา กลางวัน ตั้งแต่เวลา 8:00-16:00 น. โดยกำหนดอัตราการไหลของน้ำในระบบทำน้ำร้อนพลังงาน แสงอาทิตย์เท่ากับ 2.88 L/min หลังจากนั้นจะทำการทดสอบการหาค่าความชื้นในวัสดุปลูกที่ เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งกำหนดเงื่อนไขค่า ความชื้นในวัสดุปลูกที่ทำการทดสอบมีค่าเท่ากับ 15%wb 25%wb 35%wb และ 45%wb ตามลำดับ โดยกำหนดอัตราการไหลของน้ำร้อนที่ไหลเข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 1.5 L/min (อ้างอิงจากผลของการทดสอบการหาอัตราการไหลที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ วัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน) ตั้งแต่เวลา 17:00-23:00 น. แสดงผลดังต่อไปนี้

3.2.1 ผลการทดสอบการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในวัสดุ ปลูกที่มีค่าความชื้นเท่ากับ 15%wb

ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เริ่มทำงานตั้งแต่เวลา 8:00-16:00 น. จากการศึกษา พบว่า ค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์ตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 532.62 W/m^2 และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 32.48°C แสดงดังภาพที่ 53 (ก) อุณหภูมิน้ำเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเริ่มต้น เท่ากับ 27.7°C อุณหภูมิน้ำออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 28.2°C และอุณหภูมิน้ำในถัง เก็บน้ำร้อนมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 27.7°C จนเมื่อเวลา 16:00 น. ถังเก็บน้ำร้อนมีอุณหภูมิสะสมเท่ากับ 54.8°C แสดงดังภาพที่ 53 (ข) จึงได้ทำการใช้ฮีตเตอร์เสริมให้แก่ น้ำร้อนด้วยพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 4.55 kWh เพื่อให้ได้น้ำร้อนที่อุณหภูมิเท่ากับ 70°C



(ก) ค่ารังสีอาทิตย์ และค่ารังสีอาทิตย์วิกฤติ

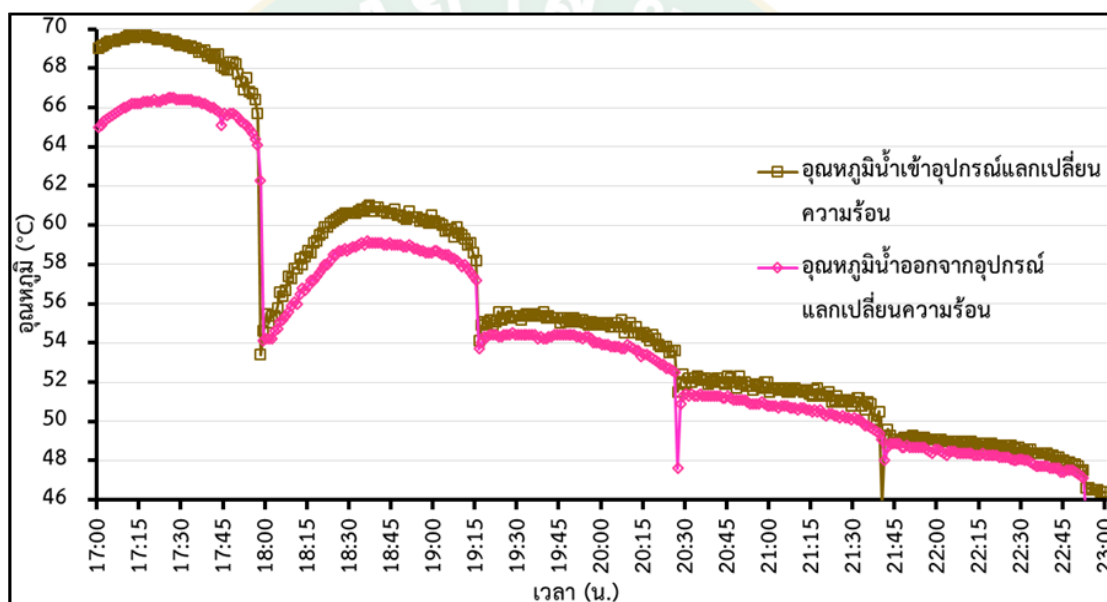


(ข) อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

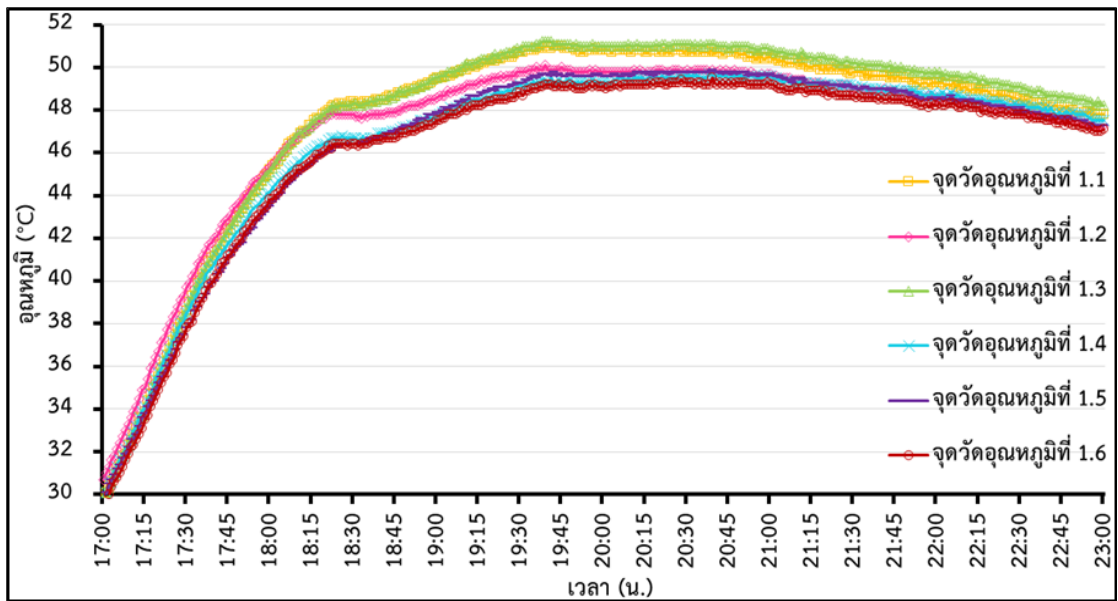
ภาพที่ 53 ผลของการทดสอบระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ในวันที่ทำการทดสอบกับวัสดุปลูกที่มีค่าความชื้นเท่ากับ 15%wb

ในการทดสอบการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในวัสดุปลูกที่มีค่าความชื้นเท่ากับ 15%wb ทำการทดสอบที่ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 24.69°C เมื่อทำการพิจารณาอุณหภูมิของวัสดุปลูกในแต่ละระดับความลึกของกระบอกทดสอบพบว่า ที่ระดับความลึก

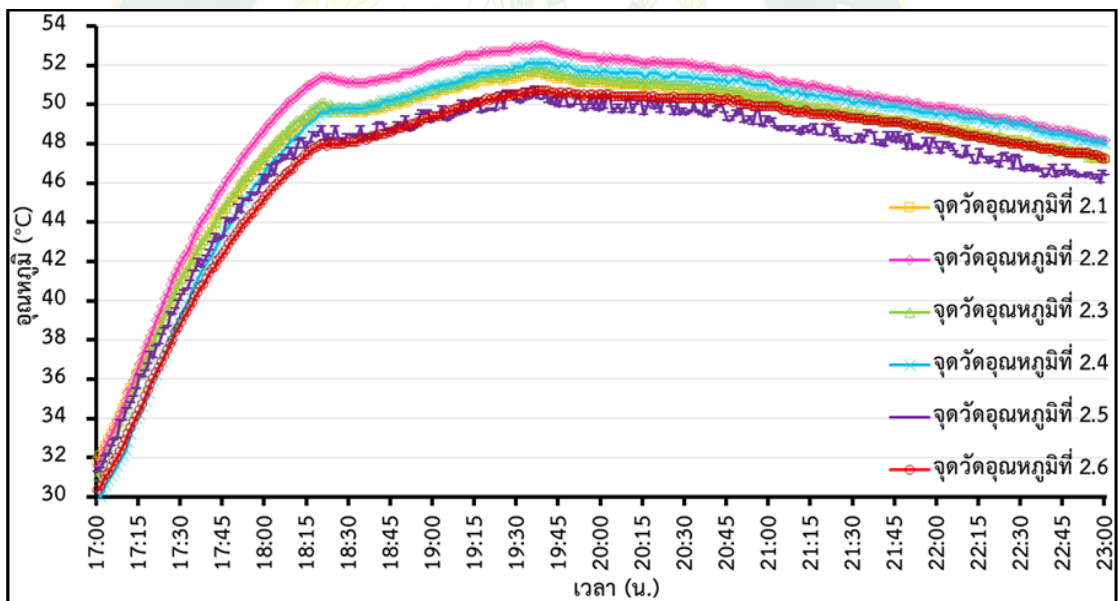
เท่ากับ 6.8 cm (ชั้นที่ 1) วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 29.93°C จนเมื่อเวลา 20:39 น. วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 50.13°C และเมื่อเวลา 23:00 น. วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสุดท้ายเท่ากับ 47.53°C แสดงดังภาพที่ 54 (ข) ที่ระดับความลึกเท่ากับ 13.6 cm (ชั้นที่ 2) วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 30.98°C จนเมื่อเวลา 19:36 น. วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 51.68°C และเมื่อเวลา 23:00 น. วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 47.38°C แสดงดังภาพที่ 54 (ค) และที่ระดับความลึกเท่ากับ 20.4 cm (ชั้นที่ 3) วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 30.13°C จนเมื่อเวลา 19:39 น. วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 48.33°C และเมื่อเวลา 23:00 น. วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 45.03°C แสดงดังภาพที่ 54 (ง)



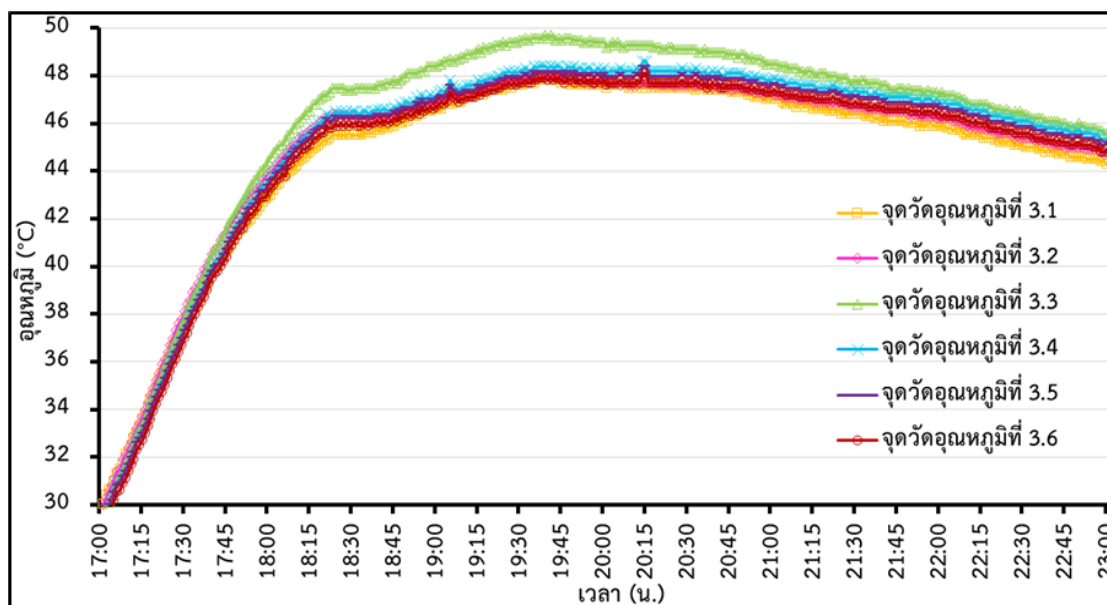
(ก) อุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน



(ข) อุณหภูมิวัสดุปลูก ที่ระดับความลึกเท่ากับ 6.8 cm (ชั้นที่ 1)



(ค) อุณหภูมิวัสดุปลูก ที่ระดับความลึกเท่ากับ 13.6 cm (ชั้นที่ 2)

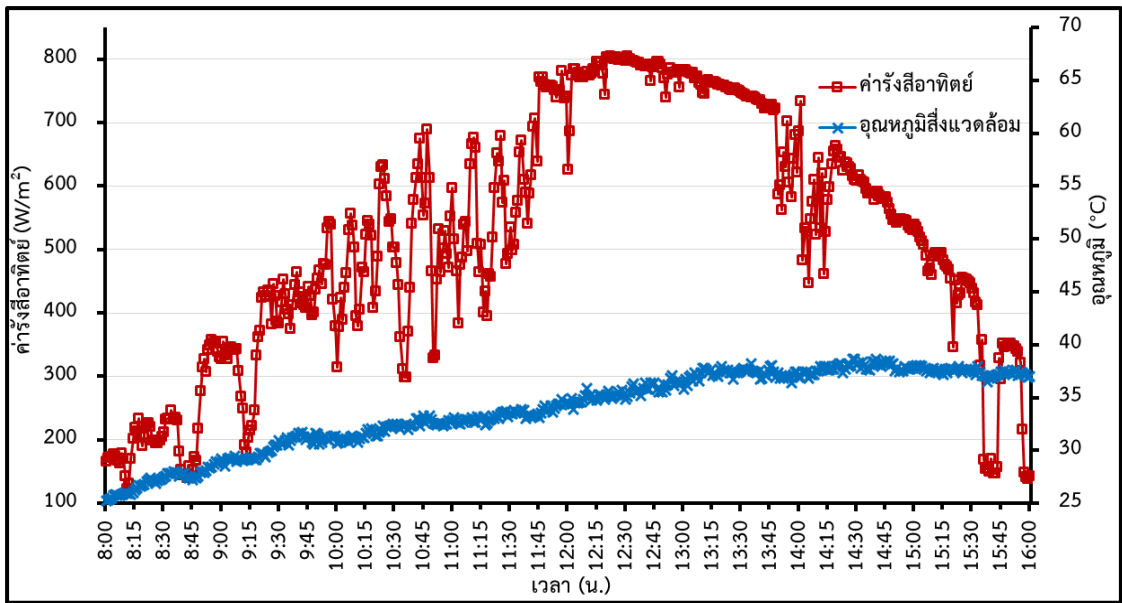


(ง) อุณหภูมิวัสดุปลูก ที่ระดับความลึกเท่ากับ 13.6 cm (ชั้นที่ 3)

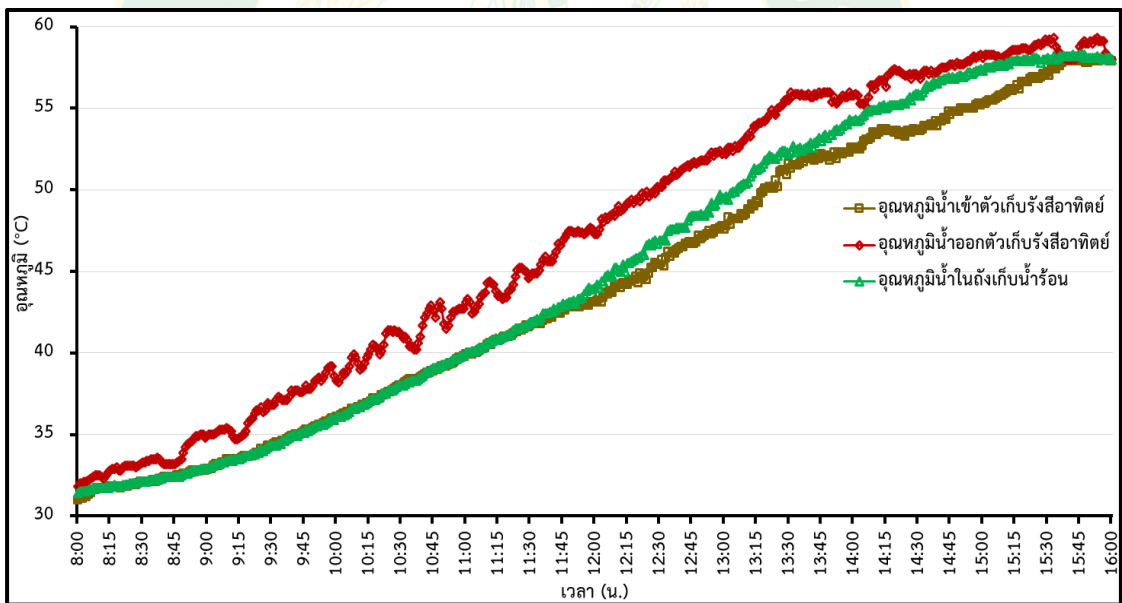
ภาพที่ 54 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกระบะชำเชื้อวัสดุปลูก กรณีค่าความชื้นของวัสดุปลูกเท่ากับ 15%wb

3.2.2 ผลการทดสอบการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในวัสดุปลูกที่มีค่าความชื้นเท่ากับ 25%wb

ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เริ่มทำงานตั้งแต่เวลา 8:00-16:00 น. จากการศึกษพบว่า ค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์ตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 520.13 W/m^2 และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 33.85°C แสดงดังภาพที่ 55 (ก) อุณหภูมิน้ำเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 31°C อุณหภูมิน้ำออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 31.8°C และอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 31.4°C จนเมื่อเวลา 16:00 น. ถึงเก็บน้ำร้อนมีอุณหภูมิสะสมเท่ากับ 58°C แสดงดังภาพที่ 55 (ข) จึงได้ทำการใช้ฮีตเตอร์เพื่อเป็นแหล่งความร้อนเสริมให้แก่ น้ำร้อนด้วยพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 3.59 kWh เพื่อให้ได้น้ำร้อนที่อุณหภูมิเท่ากับ 70°C



(ก) ค่ารังสีอาทิตย์ และค่ารังสีอาทิตย์วิกฤติ

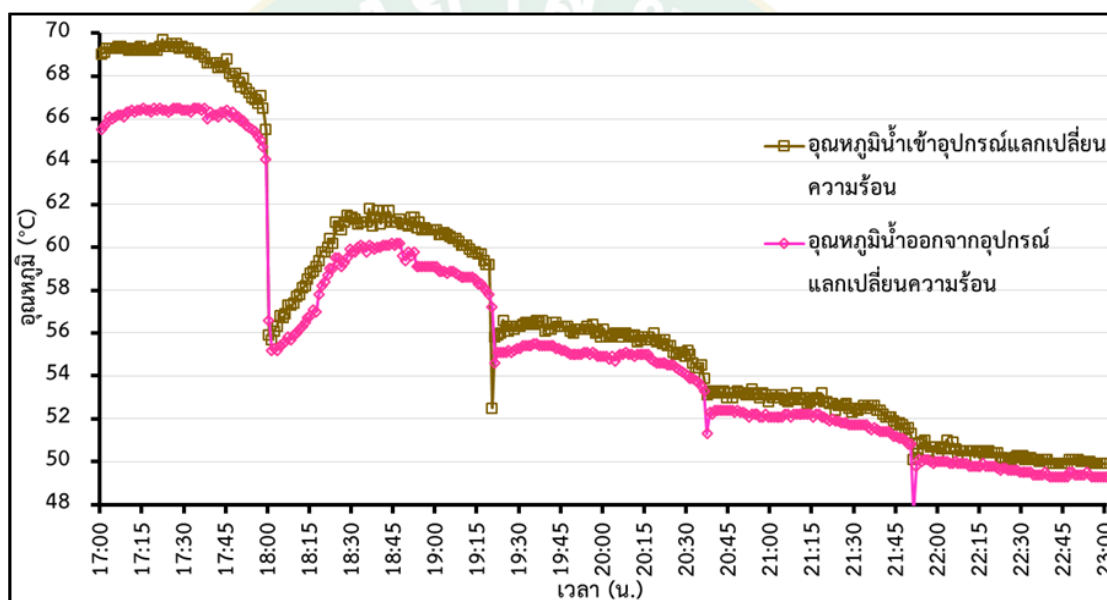


(ข) อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

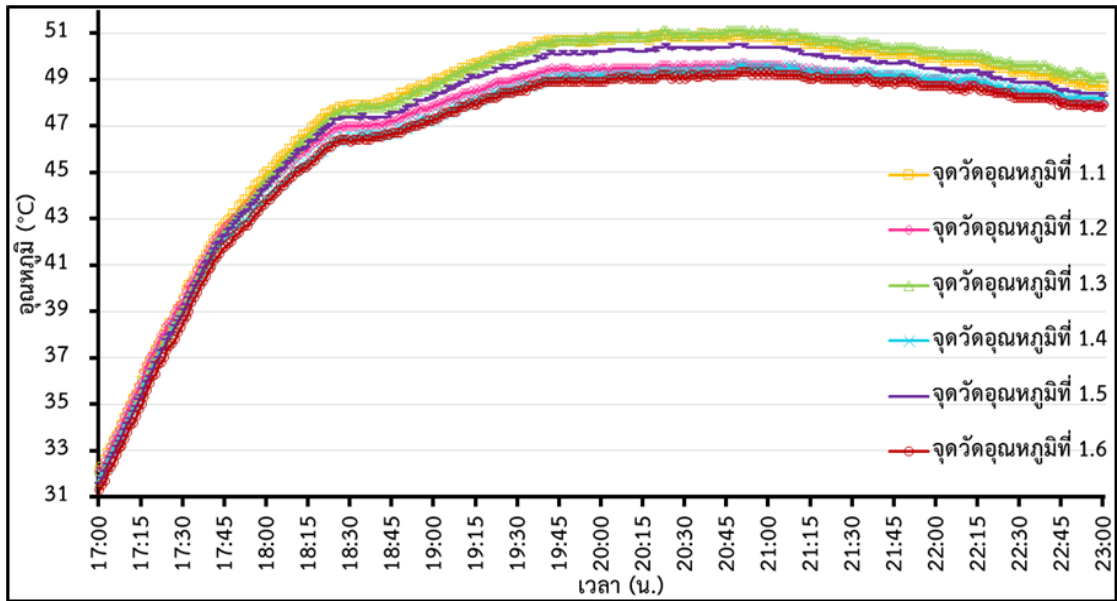
ภาพที่ 55 ผลการทดสอบระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ในวันที่ทำการทดสอบกับวัสดุปลูกที่มีค่าความชื้นเท่ากับ 25%wb

ในการทดสอบการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในวัสดุปลูกที่มีค่าความชื้นเท่ากับ 25%wb ทำการทดสอบที่ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 28.1°C เมื่อทำการพิจารณาอุณหภูมิของวัสดุปลูกในแต่ละระดับความลึกของกระบอกทดสอบพบว่า ที่ระดับความลึก

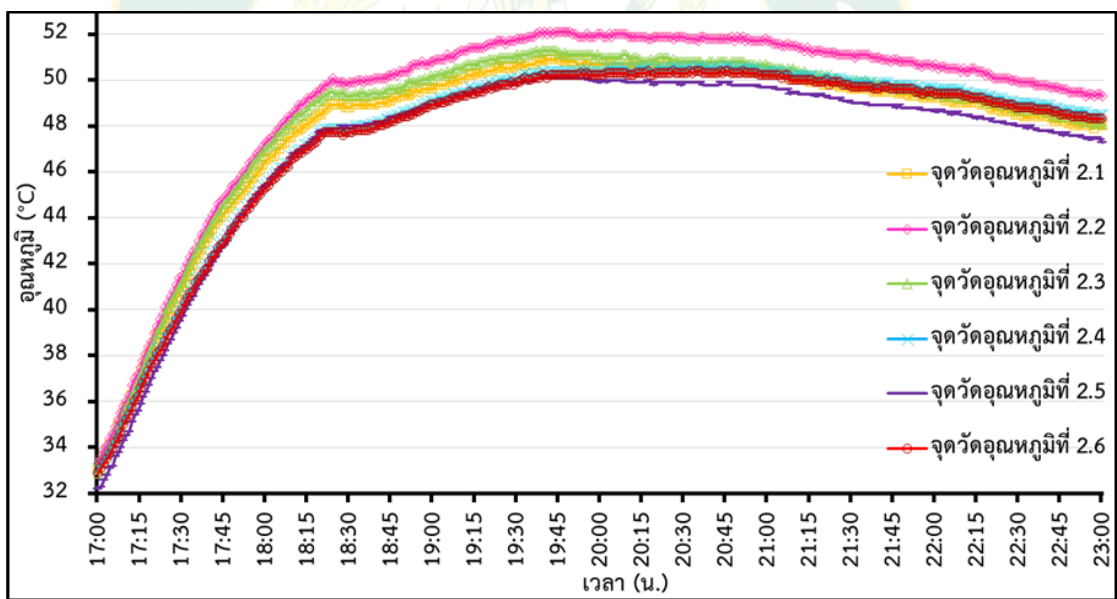
เท่ากับ 6.8 cm (ชั้นที่ 1) วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 31.77°C จนเมื่อเวลา 20:51 น. วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 50.18°C และเมื่อเวลา 23:00 น. วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสุดท้ายเท่ากับ 48.35°C แสดงดังภาพที่ 56 (ข) ที่ระดับความลึกเท่ากับ 13.6 cm (ชั้นที่ 2) วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 32.9°C จนเมื่อเวลา 19:40 น. วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 50.85°C และเมื่อเวลา 23:00 น. วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 48.25°C แสดงดังภาพที่ 56 (ค) และที่ระดับความลึกเท่ากับ 20.4 cm (ชั้นที่ 3) วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 31.07°C จนเมื่อเวลา 20:42 น. วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 48.12°C และเมื่อเวลา 23:00 น. วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 46.02°C แสดงดังภาพที่ 56 (ง)



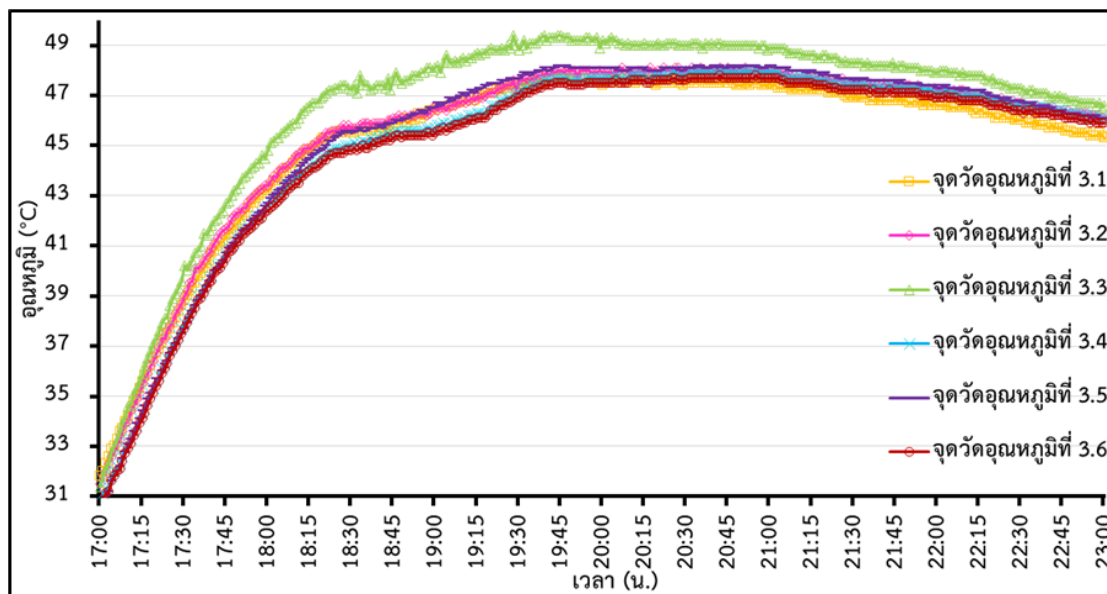
(ก) อุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน



(ข) อุณหภูมิวัสดุปลูก ที่ระดับความลึกเท่ากับ 6.8 cm (ชั้นที่ 1)



(ค) อุณหภูมิวัสดุปลูก ที่ระดับความลึกเท่ากับ 13.6 cm (ชั้นที่ 2)

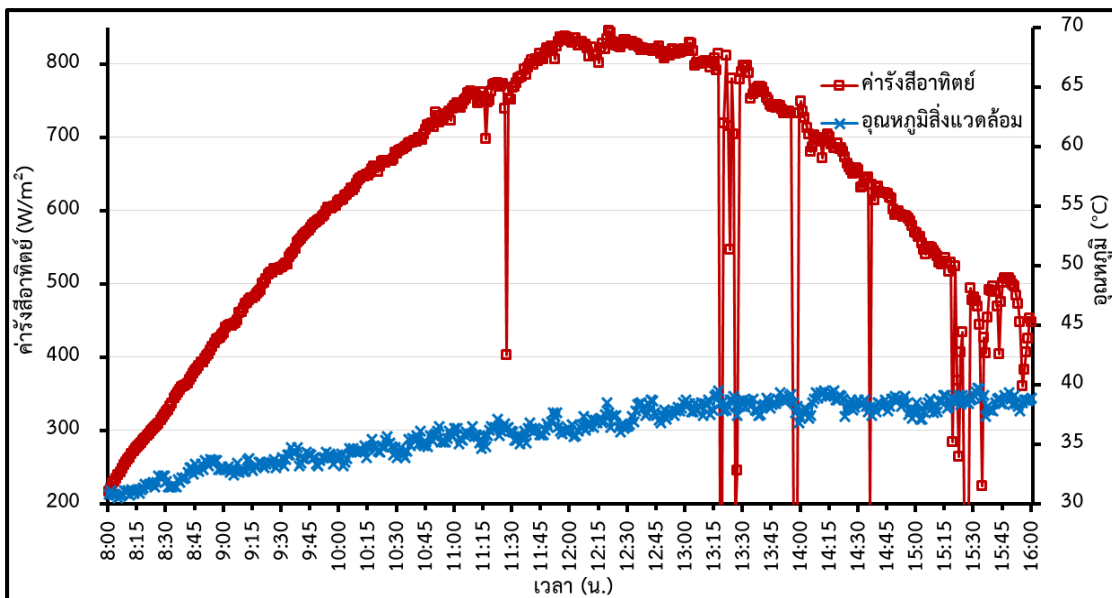


(ง) อุณหภูมิวัสดุปลุก ที่ระดับความลึกเท่ากับ 13.6 cm (ชั้นที่ 3)

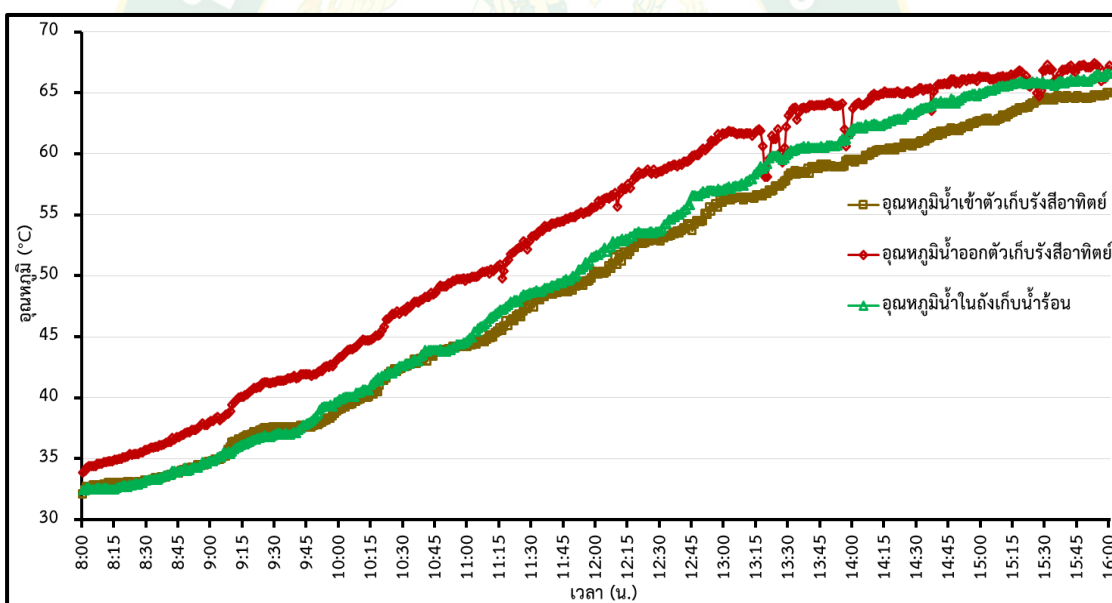
ภาพที่ 56 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกระเบาะฆ่าเชื้อวัสดุปลุก กรณีค่าความชื้นของวัสดุปลุกเท่ากับ 25%wb

3.2.3 ผลการทดสอบการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในวัสดุปลุกที่มีค่าความชื้นเท่ากับ 35%wb

ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ใน เริ่มต้นตั้งแต่วันที่ 8:00-16:00 น. จากการศึกษพบว่า ค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์ตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 616.51 W/m^2 และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 36.11°C แสดงดังภาพที่ 57 (ก) อุณหภูมิน้ำเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 32.1°C อุณหภูมิน้ำออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 33.9°C และอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 32.4°C จนเมื่อเวลา 16:00 น. ถึงเก็บน้ำร้อนมีอุณหภูมิสะสมเท่ากับ 66.1°C แสดงดังภาพที่ 57 (ข) จึงได้ทำการใช้ฮีตเตอร์เป็นแหล่งความร้อนเสริมให้แก่น้ำร้อนด้วยพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 1.02 kWh เพื่อให้ได้น้ำร้อนที่อุณหภูมิเท่ากับ 70°C



(ก) ค่ารังสีอาทิตย์ และค่ารังสีอาทิตย์วิกฤติ

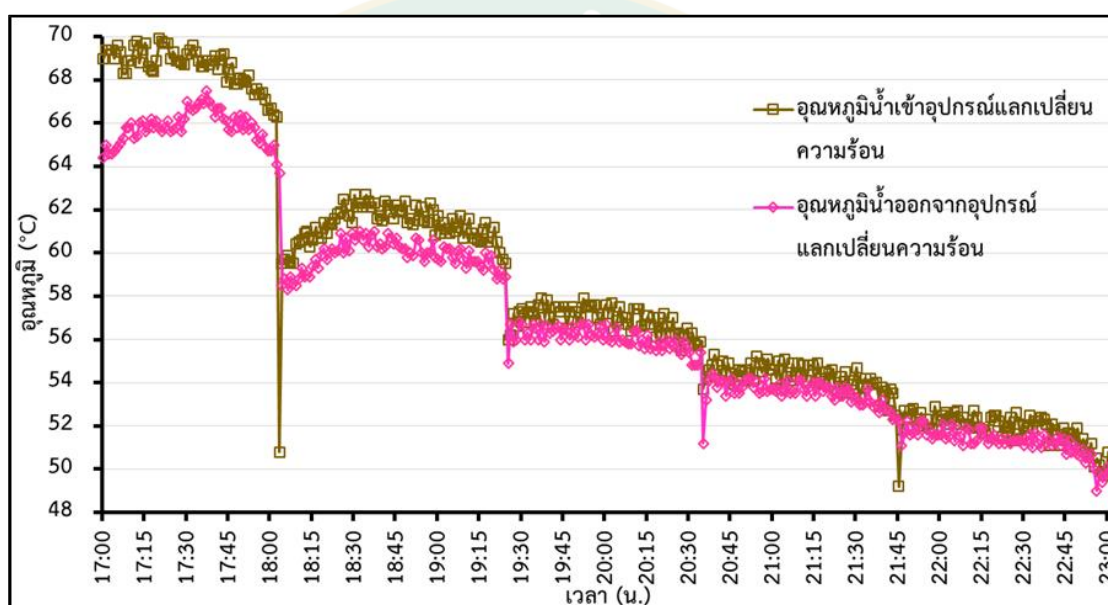


(ข) อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

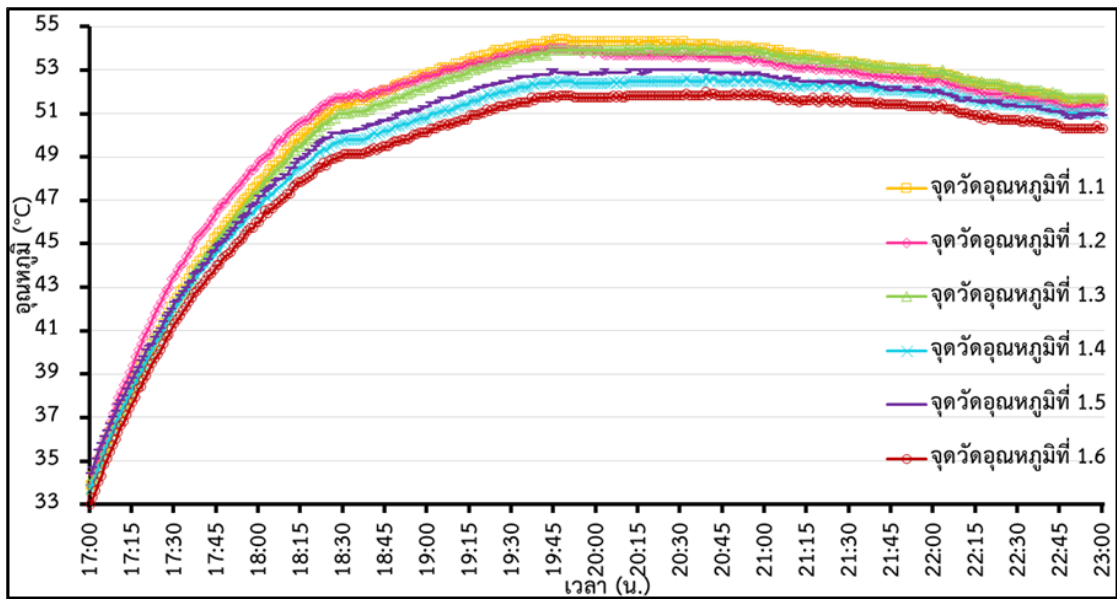
ภาพที่ 57 ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ในวันที่ทำการทดสอบกับวัสดุปลูกที่มีค่าความชื้นเท่ากับ 35%wb

ในการทดสอบการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในวัสดุปลูกที่มีค่าความชื้นเท่ากับ 35%wb ทำการทดสอบที่ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 32.2°C เมื่อทำการพิจารณาอุณหภูมิของวัสดุปลูกในแต่ละระดับความลึกของกระบะทดสอบพบว่า ที่ระดับความลึกเท่ากับ 6.8 cm (ชั้นที่ 1) วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 33.77°C จนเมื่อเวลา 20:39 น.

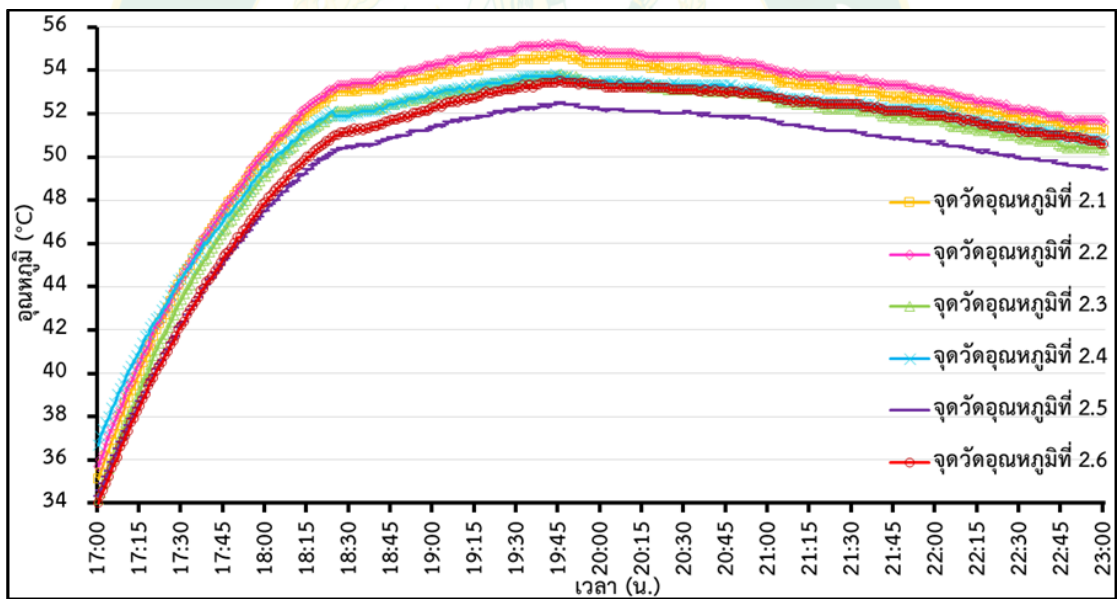
วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 53.27°C และเมื่อเวลา 23:00 น. วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 51.15°C แสดงดังภาพที่ 58 (ข) ที่ระดับความลึกเท่ากับ 13.6 cm (ชั้นที่ 2) วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 35°C จนเมื่อเวลา 19:45 น. วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 53.9°C และเมื่อเวลา 23:00 น. วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 50.63°C แสดงดังภาพที่ 58 (ค) และที่ระดับความลึกเท่ากับ 20.4 cm (ชั้นที่ 3) วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 32.67°C จนเมื่อเวลา 19:47 น. วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 51.2°C และเมื่อเวลา 23:00 น. วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 48.38°C แสดงดังภาพที่ 58 (ง)



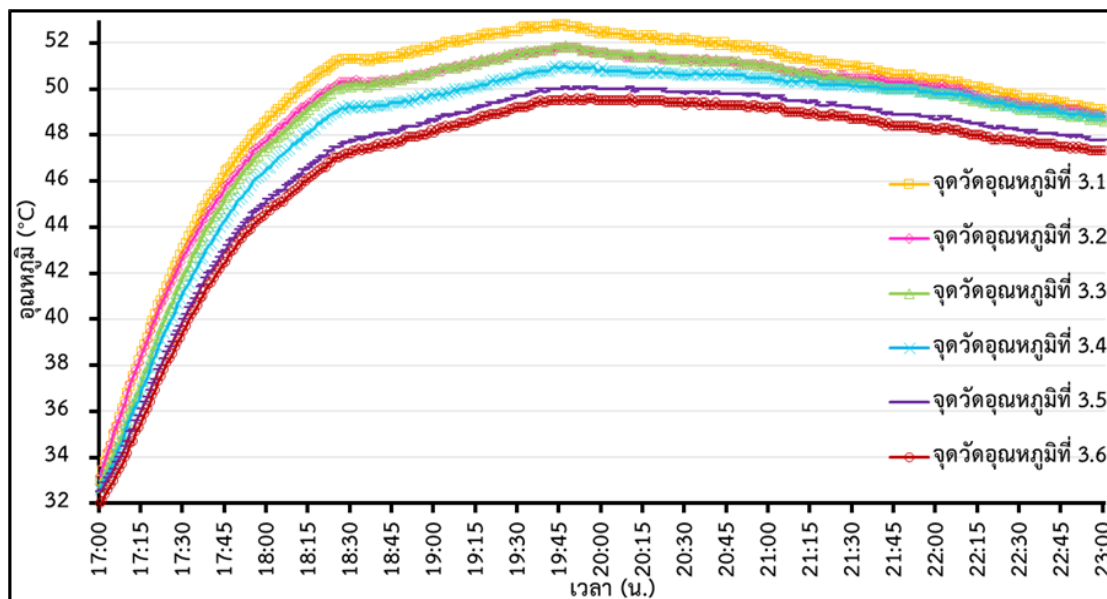
(ก) อุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน



(ข) อุณหภูมิวัสดุปลูก ที่ระดับความลึกเท่ากับ 6.8 cm (ชั้นที่ 1)



(ค) อุณหภูมิวัสดุปลูก ที่ระดับความลึกเท่ากับ 13.6 cm (ชั้นที่ 2)

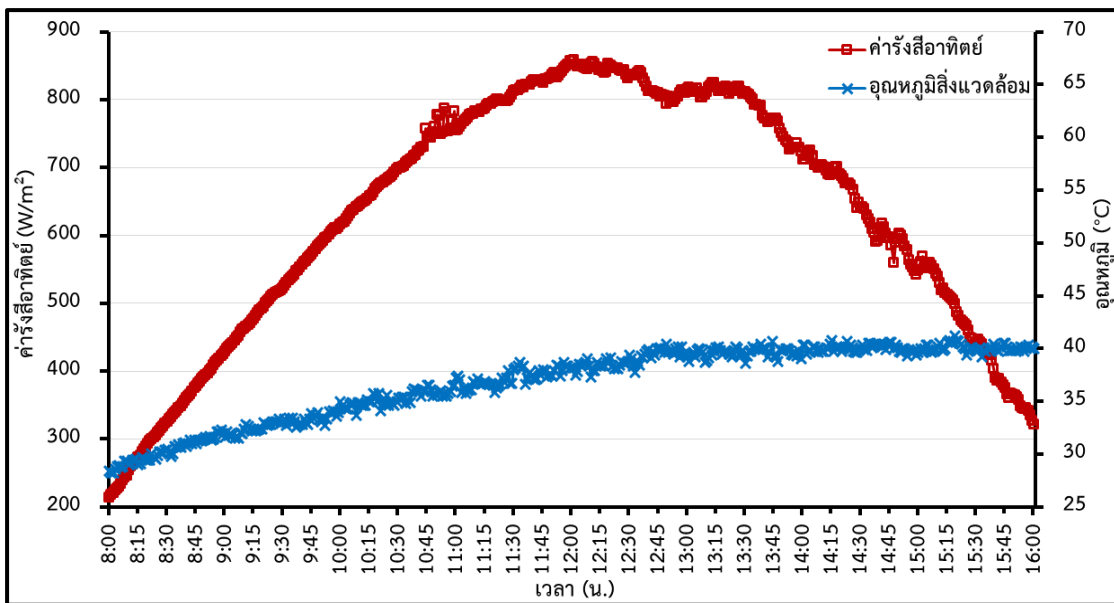


(ง) อุณหภูมิวัสดุปลุก ที่ระดับความลึกเท่ากับ 13.6 cm (ชั้นที่ 3)

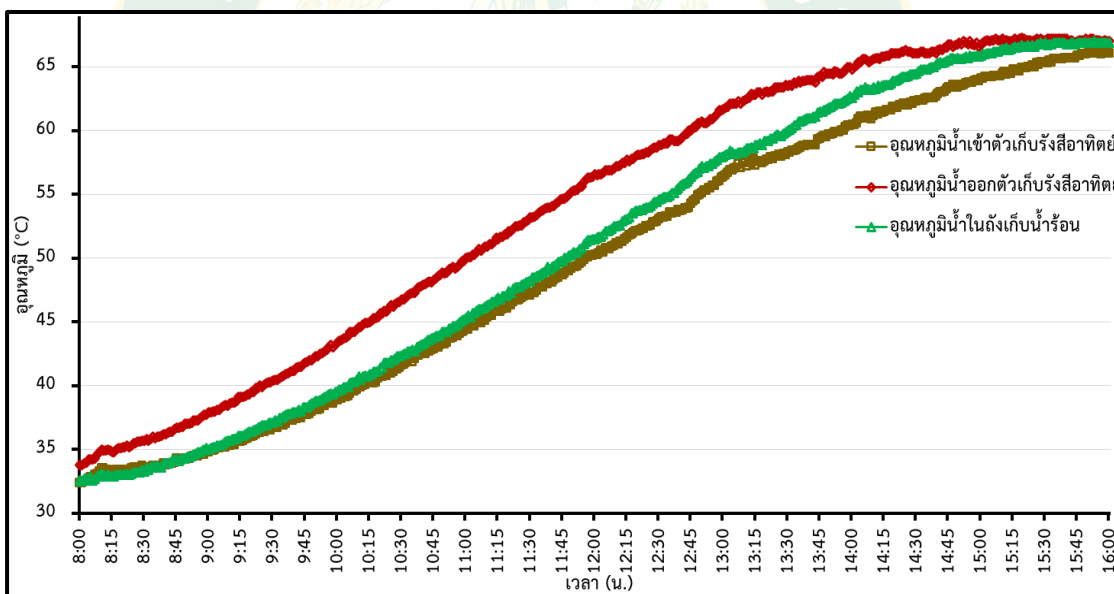
ภาพที่ 58 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกระเบื้องฝ้าเชื้อวัสดุปลุก กรณีค่าความชื้นของวัสดุปลุกเท่ากับ 35%wb

3.2.4 ผลการทดสอบการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในวัสดุปลุกที่มีค่าความชื้นเท่ากับ 45%wb

ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ใน เริ่มต้นตั้งแต่วันที่ 8:00-16:00 น. จากการศึกษพบว่า ค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์ตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 632.63 W/m^2 และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 36.78°C แสดงดังภาพที่ 59 (ก) อุณหภูมิน้ำเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 32.4°C อุณหภูมิน้ำออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 33.8°C และอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 32.6°C จนเมื่อเวลา 16:00 น. ถึงเก็บน้ำร้อนมีอุณหภูมิสะสมเท่ากับ 66.9°C แสดงดังภาพที่ 59 (ข) จึงได้ทำการใช้ฮีตเตอร์เป็นแหล่งความร้อนเสริมให้แก่น้ำร้อนด้วยพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.93 kWh เพื่อให้ได้น้ำร้อนที่อุณหภูมิเท่ากับ 70°C



(ก) ค่ารังสีอาทิตย์ และค่ารังสีอาทิตย์วิกฤติ

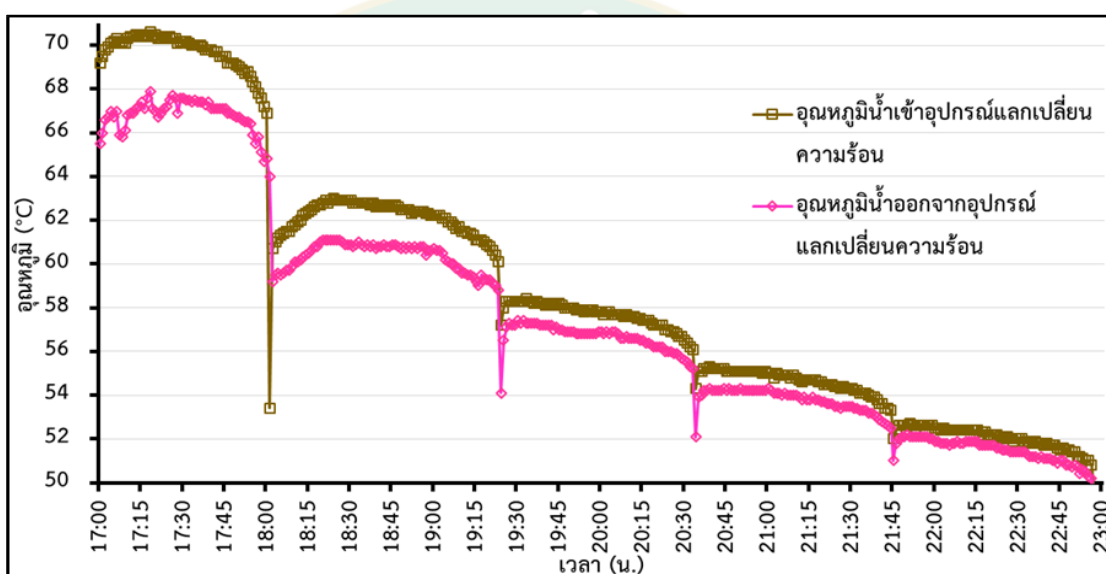


(ข) อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

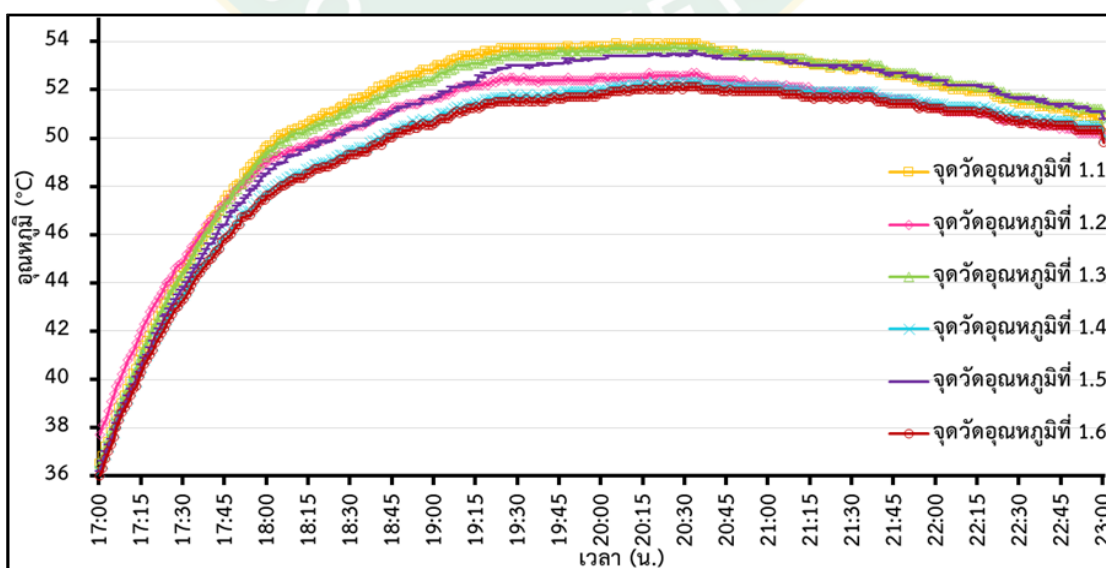
ภาพที่ 59 ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ในวันที่ทำการทดสอบการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในวัสดุปลูกที่มีค่าความชื้นเท่ากับ 45%wb

ในการทดสอบการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในวัสดุปลูกที่มีค่าความชื้นเท่ากับ 45%wb ทำการทดสอบที่ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 31.2°C เมื่อทำการพิจารณาอุณหภูมิของวัสดุปลูกในแต่ละระดับความลึกของกระบอกทดสอบพบว่า ที่ระดับความลึกเท่ากับ 6.8 cm (ชั้นที่ 1) วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 36.52°C จนเมื่อเวลา 20:26 น.

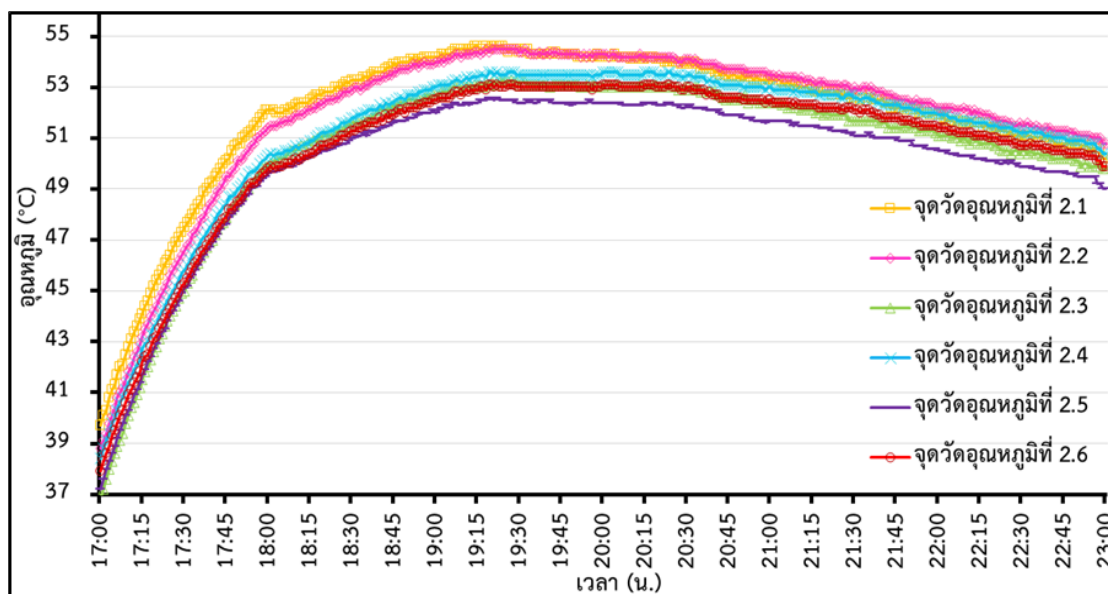
วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 53.03°C และเมื่อเวลา 23:00 น. วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 50.3°C แสดงดังภาพที่ 60 (ข) ที่ระดับความลึกเท่ากับ 13.6 cm (ชั้นที่ 2) วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 38.13°C จนเมื่อเวลา 19:20 น. วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 53.6°C และเมื่อเวลา 23:00 น. วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 50.02°C แสดงดังภาพที่ 60 (ค) และที่ระดับความลึกเท่ากับ 20.4 cm (ชั้นที่ 3) วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 35°C จนเมื่อเวลา 20:15 น. วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 50.93°C และเมื่อเวลา 23:00 น. วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 48.2°C แสดงดังภาพที่ 60 (ง)



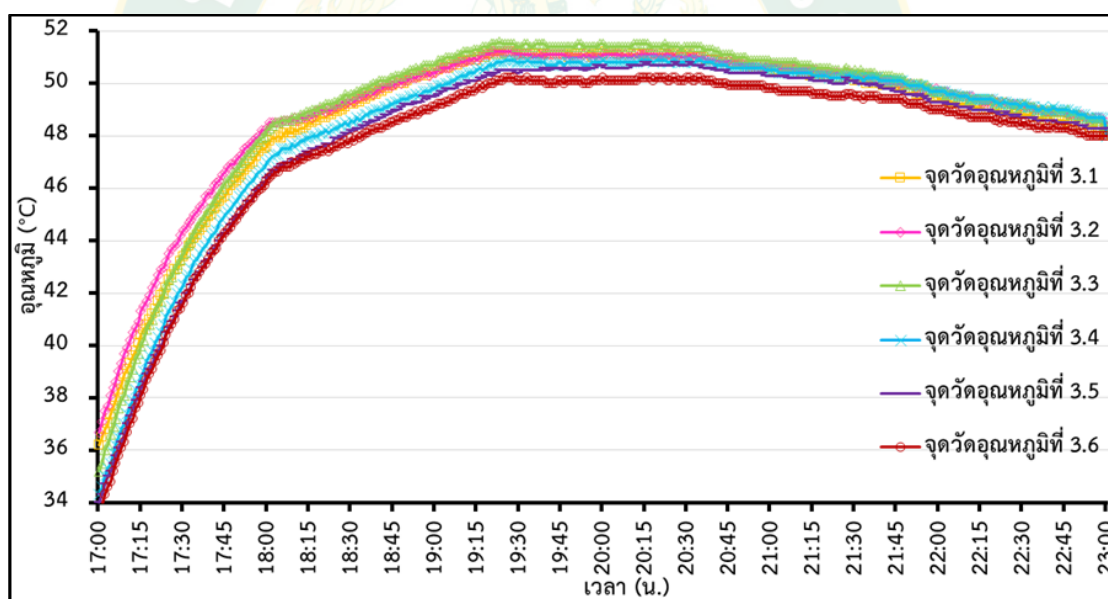
(ก) อุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำออกชุดแลกเปลี่ยนความร้อน



(ข) อุณหภูมิวัสดุปลูก ที่ระดับความลึกเท่ากับ 6.8 cm (ชั้นที่ 1)



(ค) อุณหภูมิวัสดุปลูก ที่ระดับความลึกเท่ากับ 13.6 cm (ชั้นที่ 2)



(ง) อุณหภูมิวัสดุปลูก ที่ระดับความลึกเท่ากับ 13.6 cm (ชั้นที่ 3)

ภาพที่ 60 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกระบะชำเชื้อวัสดุปลูก กรณีค่าความชื้นของวัสดุปลูกเท่ากับ

45%wb

3.2.5 การวิเคราะห์ผลการทดสอบการหาค่าความชื้นในวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

จากการวิเคราะห์ผลการใช้น้ำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีผลต่ออุณหภูมิวัสดุปลูกตั้งแต่เวลา 17:00-23:00 น. จะสังเกตได้ว่าวัสดุปลูกในแต่ละระดับค่าความชื้นจะมีอุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยที่ไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นผลมาจากในก่อนการทดสอบในบริเวณท่อทองแดงในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะมีน้ำเย็นที่ตกค้างอยู่ในท่อ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการไล่น้ำในระบบเสียก่อน โดยการปล่อยน้ำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนก่อนที่จะทำการบันทึกข้อมูลเป็นเวลาประมาณ 20 min (16:40 น.) ซึ่งในระหว่างการไล่น้ำในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนั้น หากอุณหภูมิของน้ำร้อนในท่อทองแดงมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่มากกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของวัสดุปลูกก็จะส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างท่อทองแดงกับวัสดุปลูกก่อนที่จะทำการบันทึกข้อมูลในเวลา 17:00 น. จึงส่งผลให้อุณหภูมิเริ่มต้นของวัสดุปลูกในแต่ละระดับความชื้นมีค่าไม่เท่ากัน

สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดสอบการหาค่าความชื้นในวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของวัสดุปลูกในแต่ละจุดวัดอุณหภูมิ และในแต่ละระดับความลึกของกระเบทดสอบ รวมถึงระยะเวลาที่สามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

ที่ระดับความลึกเท่ากับ 6.8 cm (ชั้นที่ 1) วัสดุปลูกที่มีค่าความชื้นเท่ากับ 45%wb สามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ได้เวลาที่นานที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปลูกที่มีค่าความชื้นเท่ากับ 15%wb 25%wb และ 35%wb ตามลำดับ โดยวัสดุปลูกในแต่ละระดับค่าความชื้นสามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ได้ที่ 4 hr 51 min 4 hr 50 min 5 hr 8 min และ 5 hr 20 min ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ระยะเวลาที่สามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ที่ระดับความชื้นต่างๆ ที่ระดับความลึกเท่ากับ 6.8 cm (ชั้นที่ 1)

| ระดับความลึกเท่ากับ 6.8 cm (ชั้นที่ 1) | | |
|--|---|-------------------|
| ความชื้นของวัสดุปลูก (%wb) | ระยะเวลาที่สามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C (hr:min) | ตั้งแต่วเวลา (น.) |
| 15 | 4 hr 51 min | 18:09-23:00 |
| 25 | 4 hr 50 min | 18:10-23:00 |
| 35 | 5 hr 8 min | 17:52-23:00 |
| 45 | 5 hr 20 min | 17:40-23:00 |

ที่ระดับความลึกเท่ากับ 13.6 cm (ชั้นที่ 2) วัสดุปลูกที่มีค่าความชื้นเท่ากับ 45%wb สามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ได้เวลาที่นานที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปลูกที่มีปริมาณความชื้นเท่ากับ 15%wb 25%wb และ 35%wb ตามลำดับ โดยวัสดุปลูกในแต่ละระดับความชื้นสามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ได้ที่ 5 hr 1 min 5 hr 2 min 5 hr 16 min และ 5 hr 30 min ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 21

ตารางที่ 21 ระยะเวลาที่สามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ที่ระดับความชื้นต่างๆ ที่ระดับความลึกเท่ากับ 13.6 cm (ชั้นที่ 2)

| ระดับความลึกเท่ากับ 13.6 cm (ชั้นที่ 2) | | |
|---|---|-------------------|
| ความชื้นของวัสดุปลูก (%wb) | ระยะเวลาที่สามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C (hr:min) | ตั้งแต่วเวลา (น.) |
| 15 | 5 hr 1 min | 17:59-23:00 |
| 25 | 5 hr 2 min | 17:58-23:00 |
| 35 | 5 hr 16 min | 17:44-23:00 |
| 45 | 5 hr 30 min | 17:30-23:00 |

ที่ระดับความลึกเท่ากับ 20.4 cm (ชั้นที่ 3) วัสดุปลูกที่มีค่าความชื้นเท่ากับ 45%wb สามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ได้เวลายาวนานที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปลูกที่มีปริมาณความชื้นเท่ากับ 15%wb 25%wb และ 35%wb ตามลำดับ โดยวัสดุปลูกในแต่ละระดับความชื้นสามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ได้ที่ 4 hr 18 min 4 hr 18 min 4 hr 56 min และ 5 hr 10 min ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 22

ตารางที่ 22 ระยะเวลาที่สามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ที่ระดับความชื้นต่างๆ ที่ระดับความลึกเท่ากับ 20.4 cm (ชั้นที่ 3)

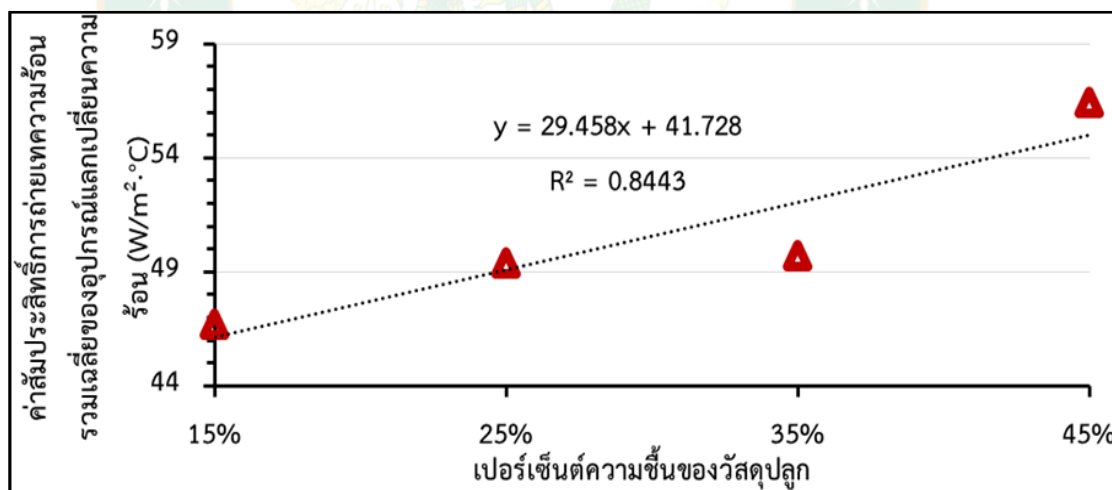
| ระดับความลึกเท่ากับ 20.4 cm (ชั้นที่ 3) | | |
|---|---|------------------|
| ความชื้นของวัสดุปลูก (%wb) | ระยะเวลาที่สามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C (hr:min) | ตั้งแต่เวลา (น.) |
| 15 | 4 hr 18 min | 18:17-22:35 |
| 25 | 4 hr 18 min | 18:17-23:00 |
| 35 | 4 hr 56 min | 18:04-23:00 |
| 45 | 5 hr 10 min | 17:50-23:00 |

สำหรับการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไปยังวัสดุปลูกที่มีค่าความชื้นเท่ากับ 15%wb 25%wb 35%wb และ 45%wb ตามลำดับ โดยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากอุณหภูมิของวัสดุปลูกในแต่ละระดับความชื้น เริ่มต้นตั้งแต่เวลา 17:00 น. จนถึงช่วงเวลาที่อุณหภูมิของวัสดุปลูกในแต่ละระดับความชื้นมีค่าเฉลี่ยสูงสุด พบว่าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากับ 46.72 W/m².°C 49.39 W/m².°C 49.70 W/m².°C และ 56.44 W/m².°C ตามลำดับ โดยที่วัสดุปลูกความชื้น 25%wb 35%wb และ 45%wb มีค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมสูงกว่าเพิ่มขึ้นเป็น 5.74% 6.38% และ 20.8% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความชื้นของวัสดุปลูกเริ่มต้นเท่ากับ 15%wb แสดงดังตารางที่ 23

ตารางที่ 23 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไปยังวัสดุปลูกใน ระดับค่าความชื้นต่างๆ

| ความชื้นของวัสดุปลูก (%wb) | สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) |
|----------------------------|---|
| 15 | 46.72 |
| 25 | 49.39 |
| 35 | 49.70 |
| 45 | 56.44 |

เมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุปลูกในแต่ละระดับความชื้น และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเฉลี่ยของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลมาทำการสร้างสมการเชิงถดถอยจะได้สมการเส้นตรงที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.84 และได้สมการสำหรับการทำนายค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในวัสดุปลูกที่มีค่าความชื้นระหว่าง 15-45%wb $Y=29.458X + 41.728$ แสดงดังภาพที่ 61



ภาพที่ 61 ความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุปลูกที่ระดับค่าความชื้นต่างๆ และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเฉลี่ยของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

สำหรับผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบฆ่าเชื้อวัสดุปลูกที่มีความชื้นเท่ากับ 15%wb 25%wb 35%wb และ 45%wb ตามลำดับ จากอัตราส่วนระหว่างอัตราถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน กับปริมาณความร้อนจากแหล่งความร้อน แสดงดังตารางที่ 24 และ ตารางที่ 25 ตามลำดับ

ตารางที่ 24 อัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในวัสดุปลูกระดับความชื้นต่างๆ

| ความชื้นของวัสดุปลูก (%wb) | ความร้อนจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน Q_{Hex} (MJ) |
|----------------------------|---|
| 15 | 3.01 |
| 25 | 2.86 |
| 35 | 2.84 |
| 45 | 3.15 |

ตารางที่ 25 ปริมาณความร้อนจากแหล่งความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในวัสดุปลูกระดับความชื้นต่างๆ

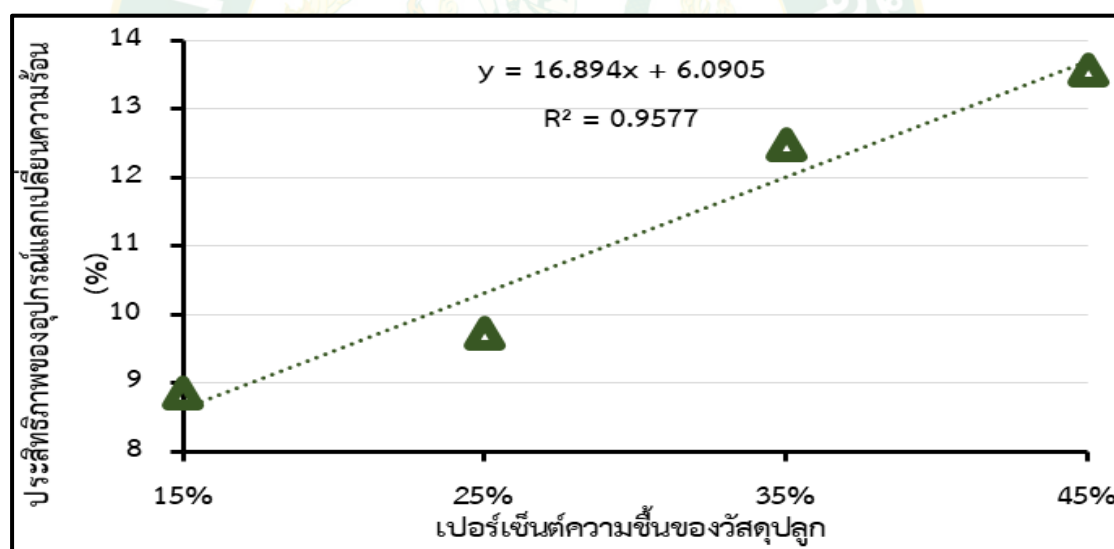
| ความชื้นของวัสดุปลูก (%wb) | ความร้อนของถังเก็บน้ำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ Q_s (MJ) | ความร้อนจากแหล่งความร้อนเสริม Q_{Heater} (MJ) | $Q_{Storage} + Q_{Heater}$ (MJ) |
|----------------------------|---|---|---------------------------------|
| 15 | 17.65 | 16.38 | 34.03 |
| 25 | 16.48 | 12.92 | 29.40 |
| 35 | 19.10 | 3.67 | 22.77 |
| 45 | 19.86 | 3.35 | 23.21 |

เมื่อทำการคำนวณค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบฆ่าเชื้อวัสดุปลูกในแต่ละระดับค่าความชื้นพบว่า มีค่าเท่ากับ 8.85% 9.73% 12.48% และ 13.57% ตามลำดับ เนื่องจากน้ำที่อยู่ในวัสดุปลูกสามารถเพิ่มการนำความร้อนให้กับวัสดุปลูกได้ และมีส่วนในการเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนระหว่างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและวัสดุปลูก แสดงดังตารางที่ 26

ตารางที่ 26 ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกในระดับความชื้นต่างๆ

| ความชื้นในวัสดุปลูก (%wb) | ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบฆ่าเชื้อวัสดุปลูก (%) |
|---------------------------|--|
| 15 | 8.85 |
| 25 | 9.73 |
| 35 | 12.48 |
| 45 | 13.57 |

เมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุปลูกในแต่ละระดับค่าความชื้น และค่าประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลมาทำการสร้างสมการเชิงถดถอยจะได้สมการเส้นตรงที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.95 และได้สมการทำนายประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในวัสดุปลูกที่มีค่าความชื้นระหว่าง 15-45% wb $Y=16.894X + 6.0905$ แสดงดังภาพที่ 62



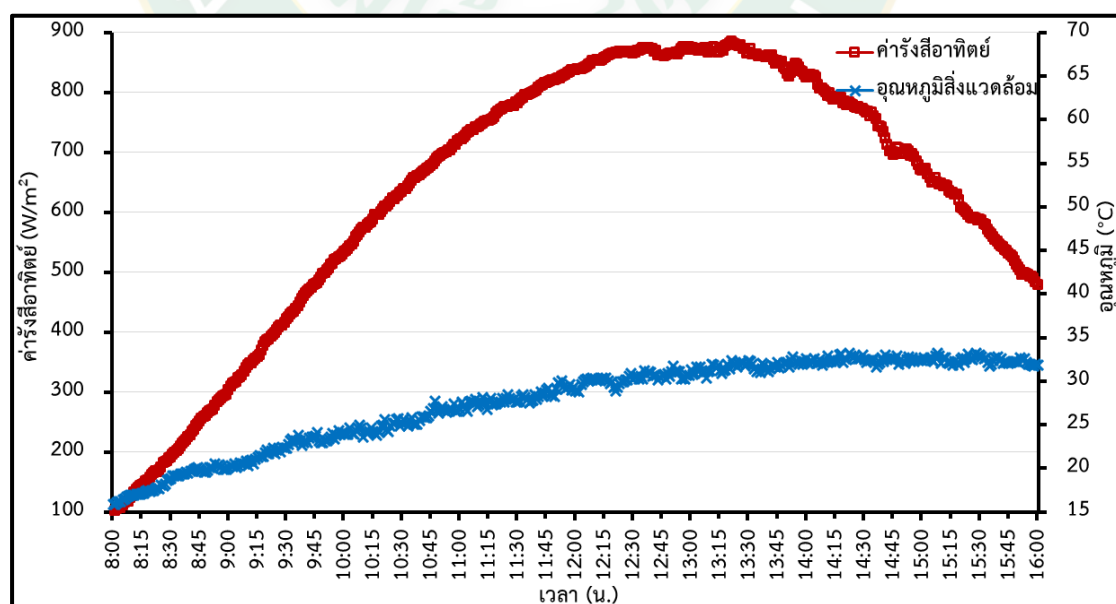
ภาพที่ 62 ความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุปลูกที่ระดับค่าความชื้นต่างๆ และประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบฆ่าเชื้อวัสดุปลูก

4. ผลการศึกษาการฆ่าเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในวัสดุปลูกพืช

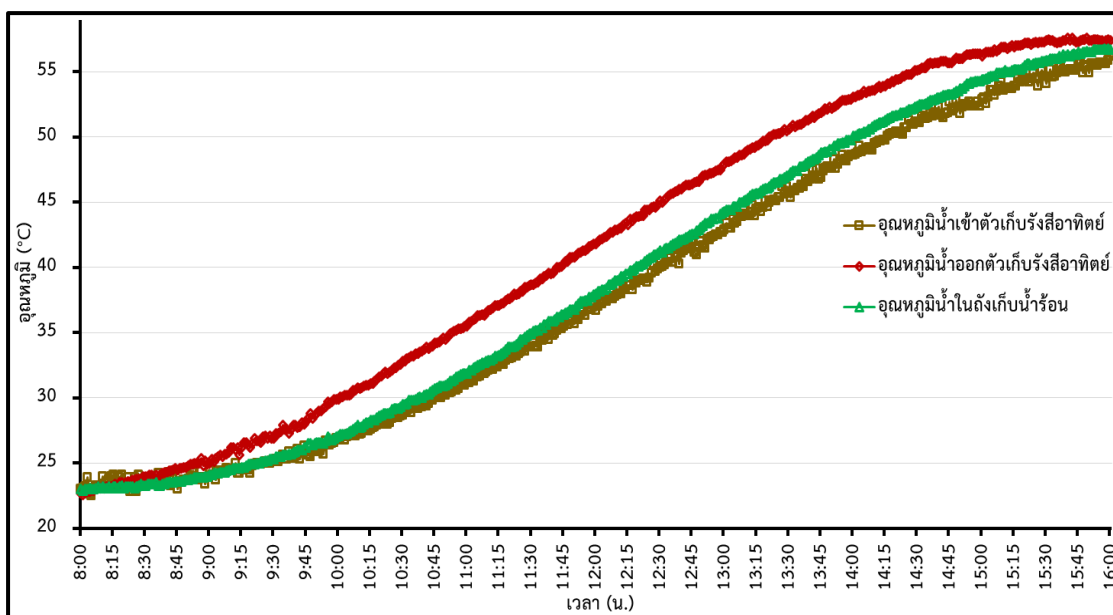
ผลการทดสอบการฆ่าเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในวัสดุปลูกพืชที่เป็นสาเหตุก่อให้เกิดโรคเหี่ยวในพืช โดยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนร่วมกับระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ กำหนดเงื่อนไขค่าความชื้นในวัสดุปลูกที่ทำการทดสอบมีค่าเท่ากับ 45%wb (อ้างอิงจากผลการทดสอบการหาค่าความชื้นที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน) และอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 1.5 L/min (อ้างอิงจากผลการทดสอบของการหาอัตราการไหลที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน) ตั้งแต่เวลา 17:00-23:00 น. แสดงผลดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดสอบการฆ่าเชื้อ *Ralstonia solanacearum* (ครั้งที่ 1)

ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ใน เริ่มทำงานตั้งแต่เวลา 8:00-16:00 น. จากการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์ตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 636.08 W/m^2 และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 27.62°C แสดงดังภาพที่ 63 (ก) อุณหภูมิน้ำเข้าและออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 23°C และ 22.7°C ตามลำดับ และอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 23°C จนเมื่อเวลา 16:00 น. ถังเก็บน้ำร้อนมีอุณหภูมิสะสมเท่ากับ 56.7°C แสดงดังภาพที่ 63 (ข) จึงได้ทำการใช้ฮีตเตอร์เพื่อเป็นแหล่งความร้อนเสริมให้แก่น้ำร้อนด้วยพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 3.98 kWh เพื่อให้ได้น้ำร้อนที่อุณหภูมิเท่ากับ 70°C



(ก) ค่ารังสีอาทิตย์ และค่ารังสีอาทิตย์วิกฤติ



(ข) อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ภาพที่ 63 ผลการทดสอบระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ในวันที่ทำการทดสอบการฆ่าเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในวัสดุปลูกพืช (ครั้งที่ 1)

ก่อนทำการทดสอบการฆ่าเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในวัสดุปลูกพืช (ครั้งที่ 1) ได้ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างวัสดุปลูกเป็นจำนวน 3 ตัวอย่าง เพื่อส่งตรวจหาปริมาณเชื้อ *Ralstonia solanacearum* เริ่มต้น แสดงดังภาพที่ 64 ซึ่งพบว่า วัสดุปลูกก่อนการทดสอบมีปริมาณเชื้อ *Ralstonia solanacearum* เฉลี่ยเท่ากับ 7.83×10^5 colony forming unit/g soil แสดงดังตารางที่ 27

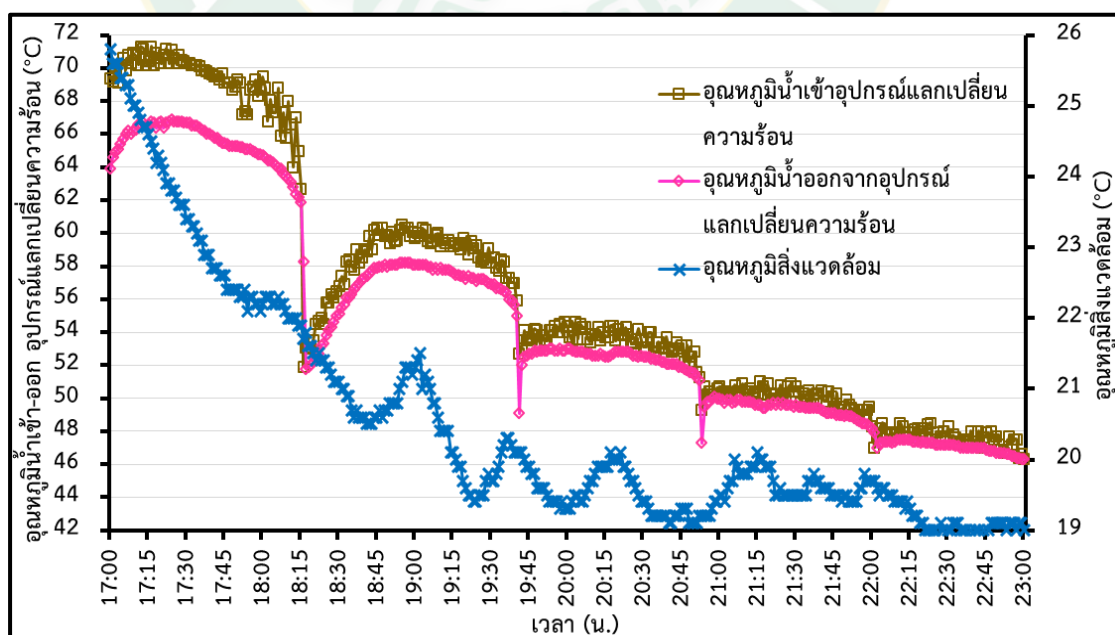


ภาพที่ 64 ภาพถ่ายลักษณะเชื้อ *Ralstonia solanacearum* จากวัสดุปลูกจำนวน 3 ตัวอย่าง ก่อนการทดสอบการฆ่าเชื้อ (ครั้งที่ 1)

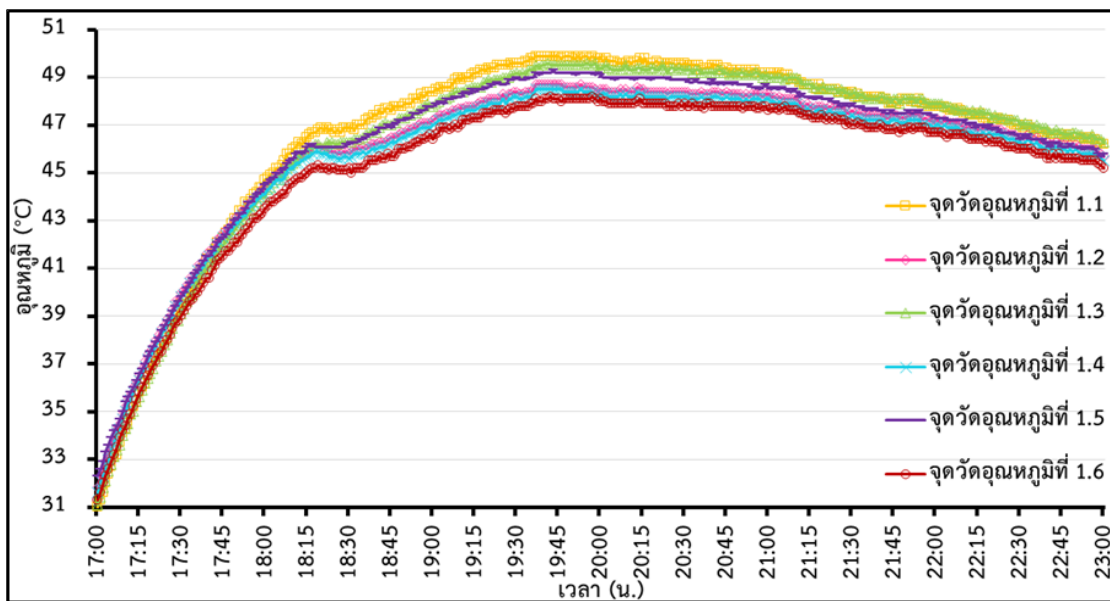
ตารางที่ 27 ปริมาณเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในวัสดุปลูกก่อนการทดสอบการฆ่าเชื้อ (ครั้งที่ 1)

| วัสดุปลูกตัวอย่าง | ปริมาณเชื้อ <i>Ralstonia solanacearum</i> (colony forming unit/g soil) |
|-------------------|---|
| 1 | 7.5×10^5 |
| 2 | 1.05×10^6 |
| 3 | 5.5×10^5 |
| เฉลี่ย | 7.83×10^5 |

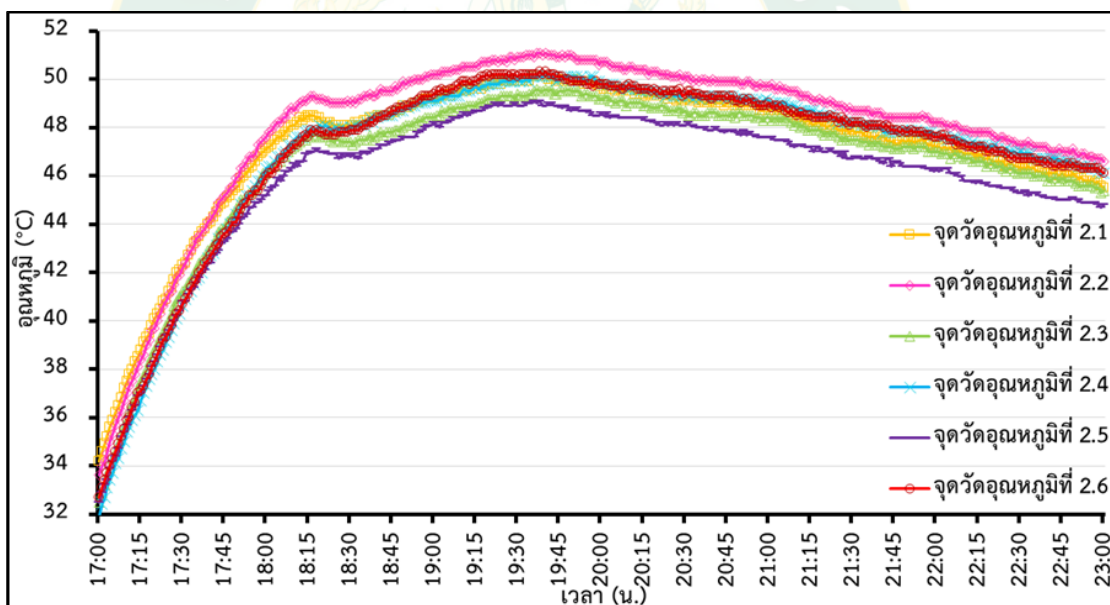
สำหรับการทดสอบการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในวัสดุปลูก ในช่วงเวลา 17:00-23:00 น. โดยตลอดที่ทำการทดสอบมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 20.5°C เมื่อทำการพิจารณาอุณหภูมิของวัสดุปลูกในแต่ละระดับความลึกของกระบะทดสอบพบว่า ที่ระดับความลึกเท่ากับ 6.8 cm (ชั้นที่ 1) 13.6 cm (ชั้นที่ 2) และ 20.4 cm (ชั้นที่ 3) ตามลำดับ วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 31.52°C 32.9°C และ 31.76°C ตามลำดับ ซึ่งในแต่ละระดับความลึกของกระบะทดสอบ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถถ่ายเทความร้อนให้แก่วัสดุปลูกจนมีอุณหภูมิที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ได้ตั้งแต่วันที่ 18:15 น. 17:54 น. และ 19:03 น. ตามลำดับ และวัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 49°C 50.03°C และ 47.03°C ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 65



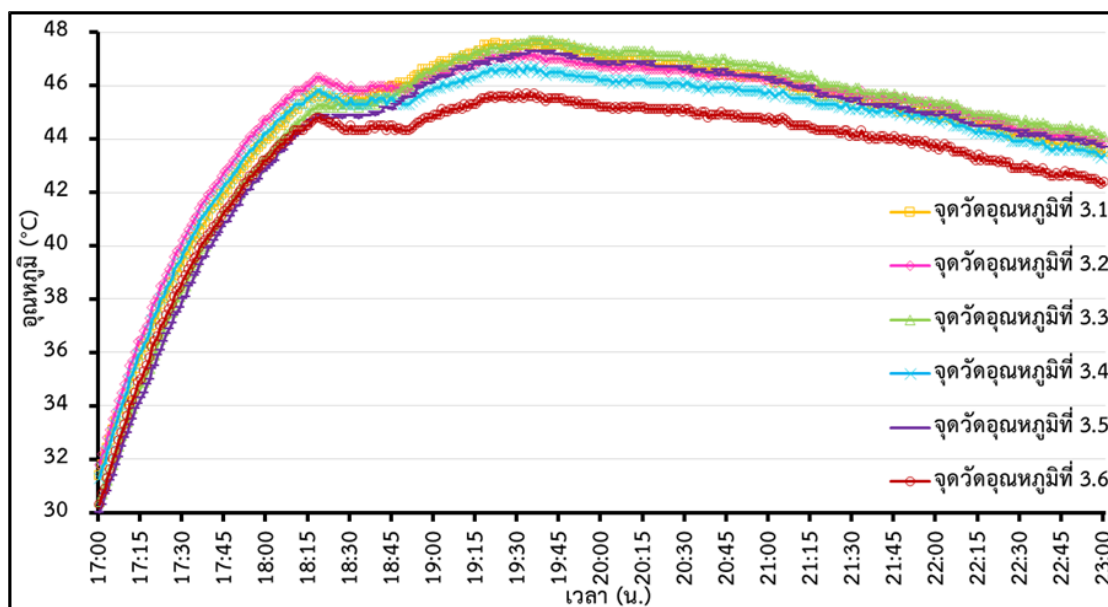
(ก) อุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำออกชุดแลกเปลี่ยนความร้อน



(ข) อุณหภูมิวัสดุปลูก ที่ระดับความลึกเท่ากับ 6.8 cm (ชั้นที่ 1)



(ค) อุณหภูมิวัสดุปลูก ที่ระดับความลึกเท่ากับ 13.6 cm (ชั้นที่ 2)



(ง) อุณหภูมิวัสดุปลูก ที่ระดับความลึกเท่ากับ 13.6 cm (ชั้นที่ 3)

ภาพที่ 65 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในวันที่ทำการทดสอบการฆ่าเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในวัสดุปลูกพืช (ครั้งที่ 1)

หลังการทดสอบการฆ่าเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในวัสดุปลูกพืช ได้ทำการเก็บตัวอย่างวัสดุปลูกเป็นจำนวน 12 ตัวอย่าง เพื่อทำการส่งตรวจหาปริมาณเชื้อ *Ralstonia solanacearum* แสดงดังภาพที่ 66 ซึ่งวัสดุปลูกหลังการทดสอบพบว่า มีปริมาณเชื้อ *Ralstonia solanacearum* มีค่าที่ลดลงเฉลี่ยเท่ากับ 2.0×10^5 colony forming unit/g soil แสดงดังตารางที่

28



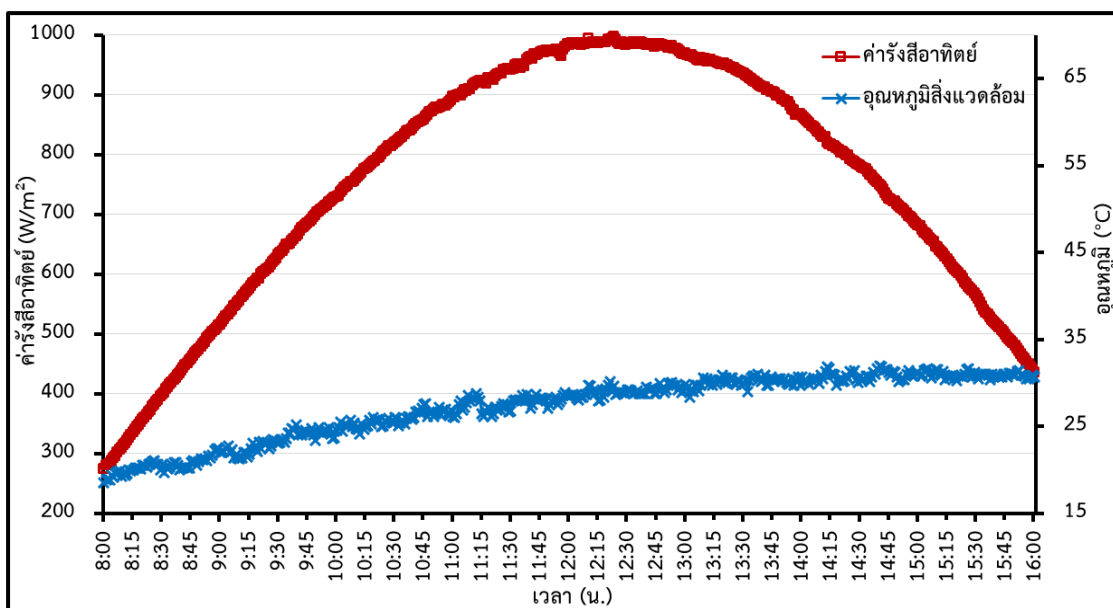
ภาพที่ 66 ภาพถ่ายลักษณะเชื้อ *Ralstonia solanacearum* จากวัสดุปลูกจำนวน 12 ตัวอย่าง หลังการทดสอบการฆ่าเชื้อ (ครั้งที่ 1)

ตารางที่ 28 ปริมาณเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในวัสดุปลูก หลังการทดสอบการฆ่าเชื้อ (ครั้งที่ 1)

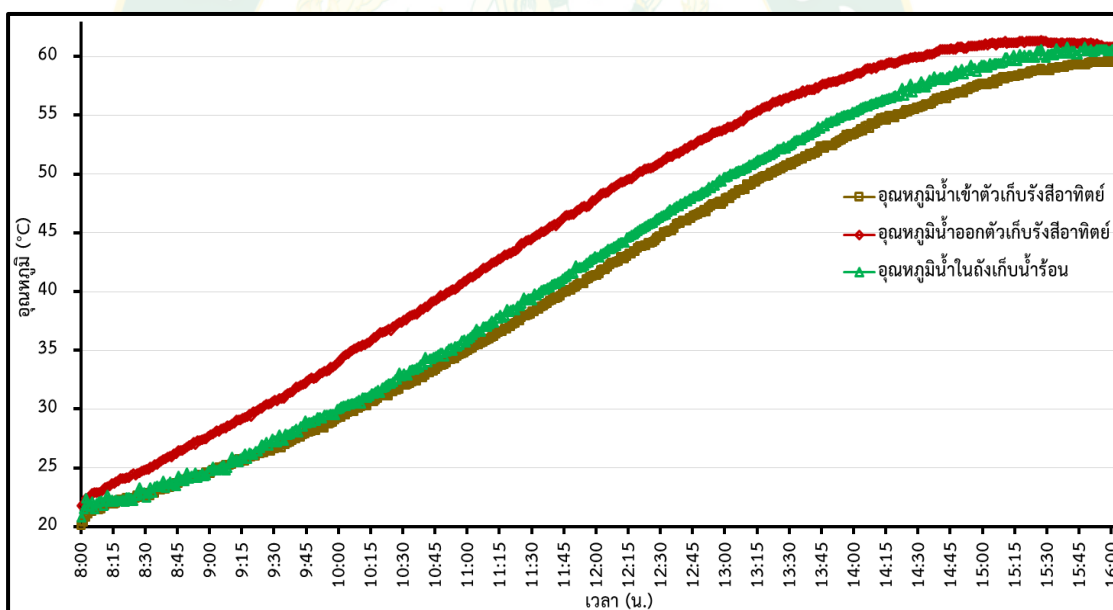
| วัสดุปลูกตัวอย่าง | ปริมาณเชื้อ <i>Ralstonia solanacearum</i> (colony forming unit/g soil) |
|-------------------|---|
| 1 | 2.93×10^5 |
| 2 | 2.03×10^5 |
| 3 | 1.73×10^5 |
| 4 | 1.5×10^5 |
| 5 | 3.8×10^5 |
| 6 | 1.96×10^5 |
| 7 | 2.16×10^5 |
| 8 | 1.43×10^5 |
| 9 | 1.53×10^5 |
| 10 | 1.50×10^5 |
| 11 | 1.60×10^5 |
| 12 | 1.83×10^5 |
| เฉลี่ย | 2.0×10^5 |

4.2 ผลการทดสอบการฆ่าเชื้อ *Ralstonia solanacearum* (ครั้งที่ 2)

ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ใน เริ่มทำงานตั้งแต่เวลา 8:00-16:00 น. ค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์ตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 751.21 W/m^2 และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 27.26°C แสดงดังภาพที่ 67 (ก) อุณหภูมิน้ำเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 20.1°C อุณหภูมิน้ำออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 21.8°C และอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 20.8°C จนเมื่อเวลา 16:00 น. ถังเก็บน้ำร้อนมีอุณหภูมิสะสมเท่ากับ 60.6°C แสดงดังภาพที่ 67 (ข) จึงได้ทำการใช้ฮีตเตอร์เพื่อเป็นแหล่งความร้อนเสริมให้แก่น้ำร้อนด้วยพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 2.81 kWh เพื่อให้ได้น้ำร้อนที่อุณหภูมิเท่ากับ 70°C



(ก) ค่ารังสีอาทิตย์ และค่ารังสีอาทิตย์วิกฤติ

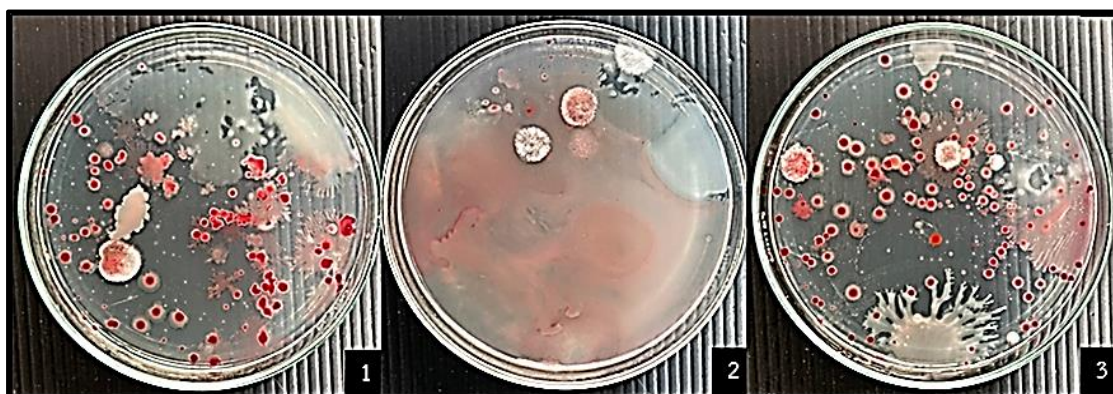


(ข) อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ภาพที่ 67 ผลการทดสอบระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ในวันที่ทำการทดสอบการฆ่าเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในวัสดุปลูกพืช (ครั้งที่ 2)

ก่อนการทดสอบการฆ่าเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในวัสดุปลูกพืช (ครั้งที่ 2) ได้ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างวัสดุปลูกเป็นจำนวน 3 ตัวอย่าง เพื่อทำการส่งตรวจหาปริมาณเชื้อ *Ralstonia*

solanacearum เริ่มต้น แสดงดังภาพที่ 68 ซึ่งวัสดุปลูกก่อนการทดสอบมีปริมาณเชื้อ *Ralstonia solanacearum* เฉลี่ยเท่ากับ 4.01×10^5 colony forming unit/g soil แสดงดังตารางที่ 29

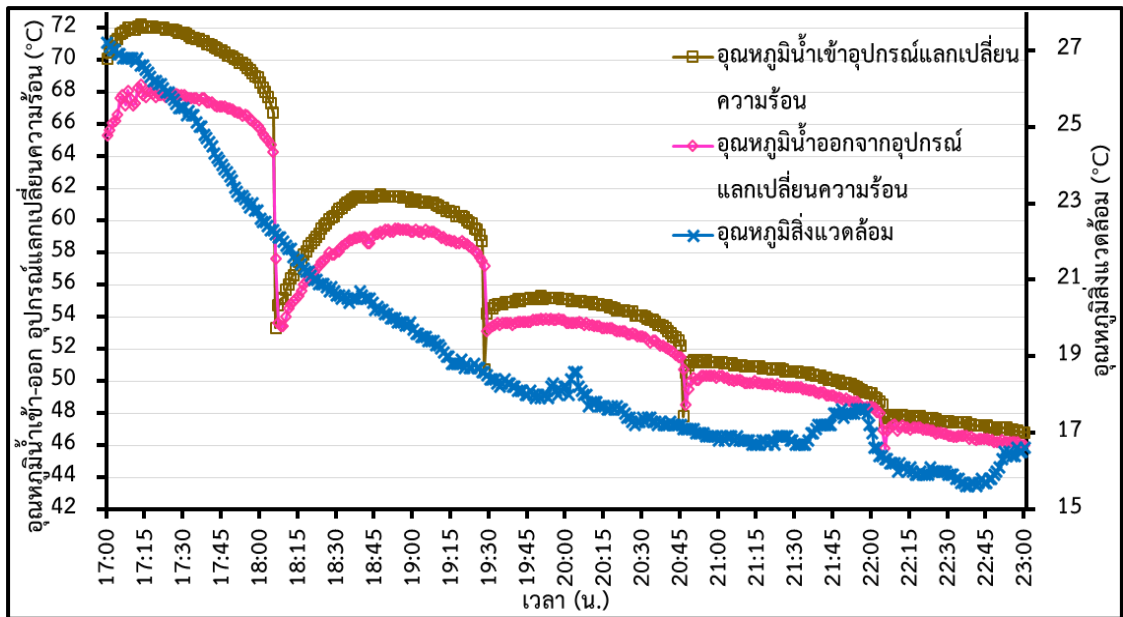


ภาพที่ 68 ภาพถ่ายลักษณะเชื้อ *Ralstonia solanacearum* จากวัสดุปลูกจำนวน 3 ตัวอย่าง ก่อนการทดสอบการฆ่าเชื้อ (ครั้งที่ 2)

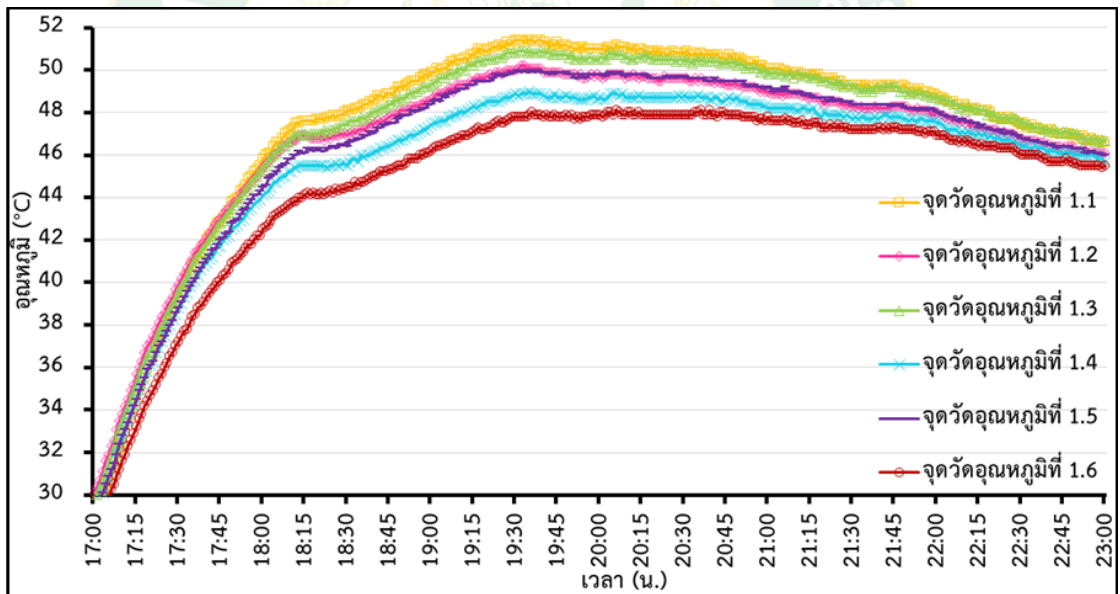
ตารางที่ 29 ปริมาณเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในวัสดุปลูกก่อนการทดสอบการฆ่าเชื้อ (ครั้งที่ 2)

| วัสดุปลูกตัวอย่าง | ปริมาณเชื้อ <i>Ralstonia solanacearum</i> (colony forming unit/g soil) |
|-------------------|---|
| 1 | 5.66×10^5 |
| 2 | 8.60×10^4 |
| 3 | 5.50×10^5 |
| เฉลี่ย | 4.01×10^5 |

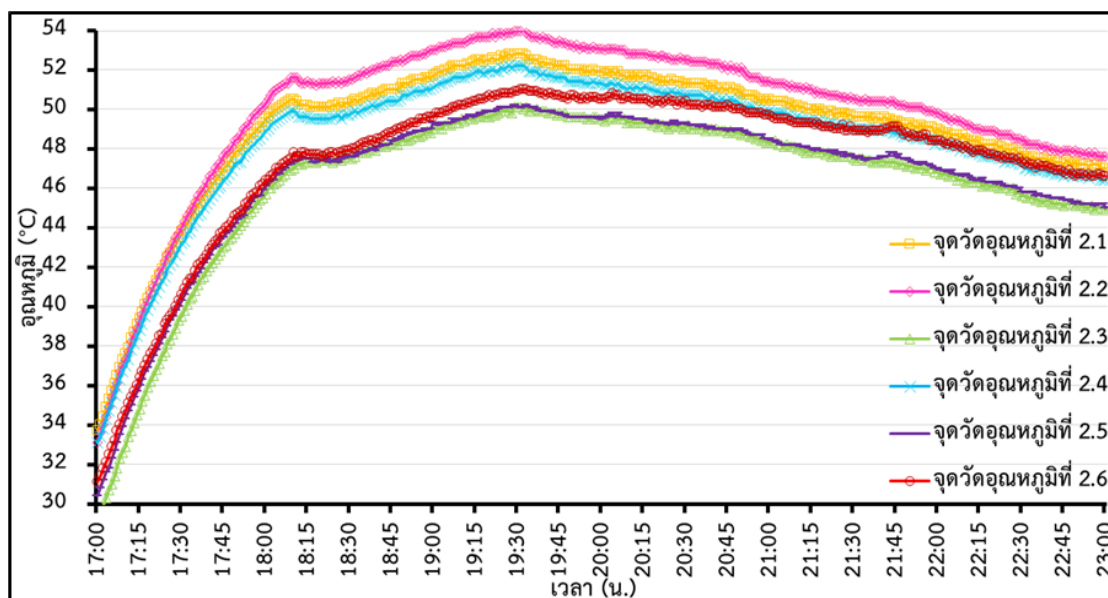
สำหรับการทดสอบการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในวัสดุปลูกที่ในช่วงเวลา 17:00-23:00 น. โดยตลอดที่ทำการทดสอบมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 19.2°C เมื่อทำการพิจารณาอุณหภูมิของวัสดุปลูกในแต่ละระดับความลึกของกระบอกทดสอบพบว่า ที่ระดับความลึกเท่ากับ 6.8 cm (ชั้นที่ 1) 13.6 cm (ชั้นที่ 2) และ 20.4 cm (ชั้นที่ 3) ตามลำดับ วัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 29.1°C 31.77°C และ 28.83°C ตามลำดับ ซึ่งในแต่ละระดับความลึกของกระบอกทดสอบ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถถ่ายเทความร้อนให้แก่วัสดุปลูกจนมีอุณหภูมิที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ได้ตั้งแต่เวลา 18:39 น. 17:56 น. และ 18:29-22:03 น. ตามลำดับ และวัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 49.87°C 51.7°C และ 48.17°C ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 69



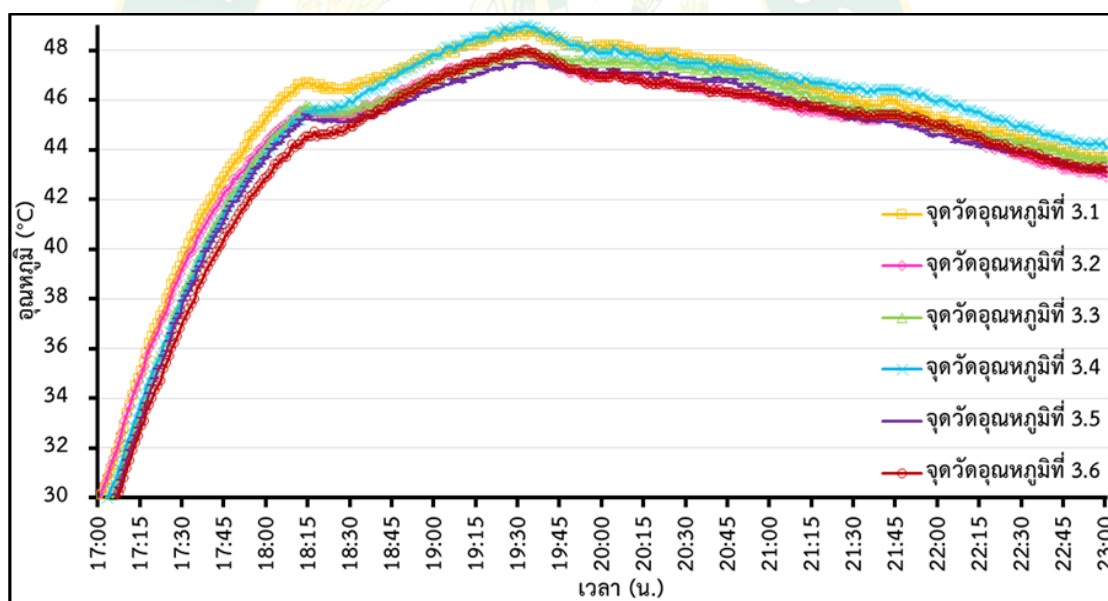
(ก) อุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำออกชุดแลกเปลี่ยนความร้อน



(ข) อุณหภูมิวัสดุปลูก ที่ระดับความลึกเท่ากับ 6.8 cm (ชั้นที่ 1)



(ค) อุณหภูมิวัสดุปลูก ที่ระดับความลึกเท่ากับ 13.6 cm (ชั้นที่ 2)

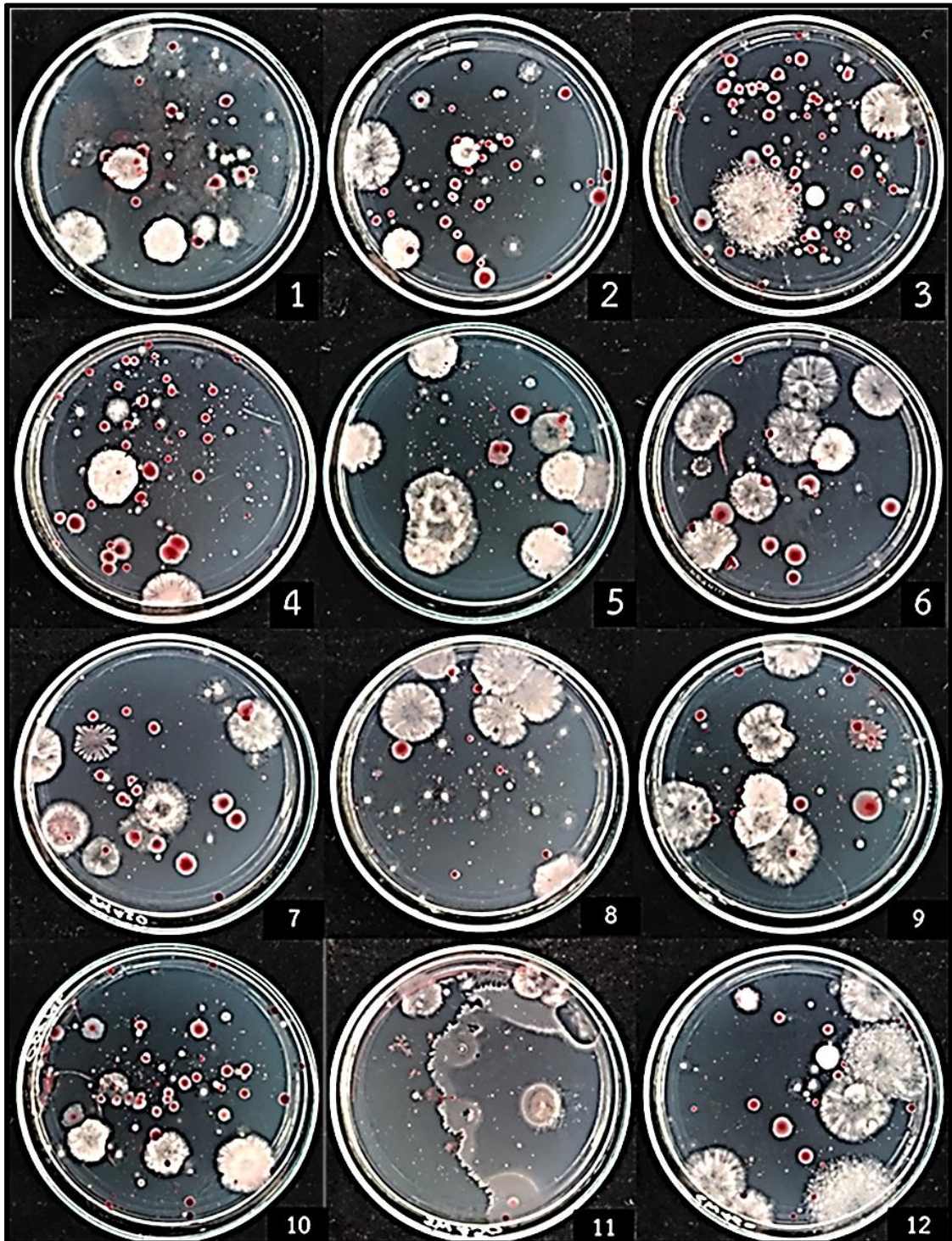


(ง) อุณหภูมิวัสดุปลูก ที่ระดับความลึกเท่ากับ 13.6 cm (ชั้นที่ 3)

ภาพที่ 69 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในวันที่ทำการทดสอบการฆ่าเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในวัสดุปลูกพีช (ครั้งที่ 2)

หลังการทดสอบการฆ่าเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในวัสดุปลูกพีช ทำการเก็บตัวอย่าง วัสดุปลูกเป็นจำนวน 12 ตัวอย่าง เพื่อทำการส่งตรวจหาปริมาณเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ที่

ลดน้อยลงจากการทดสอบ แสดงดังภาพที่ 70 ซึ่งวัสดุปลูกหลังการทดสอบมีปริมาณเชื้อ *Ralstonia solanacearum* เฉลี่ยเท่ากับ 2.8×10^5 colony forming unit/g soil แสดงดังตารางที่ 30



ภาพที่ 70 ภาพถ่ายลักษณะเชื้อ *Ralstonia solanacearum* จากวัสดุปลูกจำนวน 12 ตัวอย่าง หลังการทดสอบการฆ่าเชื้อ (ครั้งที่ 2)

ตารางที่ 30 ปริมาณเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในวัสดุปลูก หลังการทดสอบการฆ่าเชื้อ (ครั้งที่ 2)

| วัสดุปลูกตัวอย่าง | ปริมาณเชื้อ <i>Ralstonia solanacearum</i> (colony forming unit/g soil) |
|-------------------|---|
| 1 | 3.46×10^5 |
| 2 | 4.93×10^5 |
| 3 | 5.00×10^5 |
| 4 | 2.30×10^5 |
| 5 | 2.20×10^5 |
| 6 | 1.26×10^5 |
| 7 | 1.90×10^5 |
| 8 | 1.80×10^5 |
| 9 | 2.73×10^5 |
| 10 | 4.30×10^5 |
| 11 | 1.76×10^5 |
| 12 | 1.93×10^5 |
| เฉลี่ย | 2.8×10^5 |

4.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบการฆ่าเชื้อ *Ralstonia solanacearum*

จากการทดสอบการฆ่าเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในวัสดุปลูกพืชครั้งที่ 1 และ ครั้งที่ 2 ตามลำดับ พบว่า ระบบฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกสามารถทำการฆ่าเชื้อ *Ralstonia solanacearum* จากจำนวนเชื้อก่อนการทดสอบมีค่าเท่ากับ 7.83×10^5 และ 4.01×10^5 colony forming unit/g soil เมื่อการทดลองเสร็จสิ้นพบว่า ไม่สามารถที่จะทำการกำจัดเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ได้หมด แต่สามารถลดจำนวนของเชื้อให้ลดน้อยลงเท่ากับ 2×10^5 และ 2.8×10^5 colony forming unit/g soil ตามลำดับ หรือลดลงได้ 74.47% และ 31.12% ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบจะสังเกตได้ว่าการฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกในครั้งที่ 2 ปริมาณเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ลดลงน้อยกว่าการฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกครั้งที่ 1 ซึ่งเป็นผลมาจากในวันที่ได้ทำการทดสอบมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่ค่อนข้างต่ำเท่ากับ 19.2°C ส่งผลให้อุณหภูมิในระบบแลกเปลี่ยนความร้อน และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมีค่าที่ต่างกันมาก จึงเกิดการสูญเสียความร้อนในระบบฆ่าเชื้อให้แก่สิ่งแวดล้อม ทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและวัสดุปลูกมีการถ่ายโอนความร้อนที่ไม่ดีพอ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การศึกษาการฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกพืชที่อุณหภูมิต่ำด้วยระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งการดำเนินงานวิจัยได้แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ประกอบด้วย ผลการศึกษาสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ผลการศึกษาอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ผลการศึกษาปริมาณความชื้นในวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และผลการศึกษาการฆ่าเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในวัสดุปลูกพืชที่เป็นสาเหตุก่อให้เกิดโรคเหี่ยวในพืช โดยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนร่วมกับระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. การศึกษาสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ขนาดเท่ากับ 2.4 m² ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASHRAE STANDARD 93-2003 ได้ค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ มีค่าเท่ากับ 0.5645 และ F_{RUL} มีค่าเท่ากับ 5.4121 W/m²·°C และเมื่อทำการทดสอบระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์และทำการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนที่ได้จากการทดลองจริงกับอุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนที่ได้จากการคำนวณในแต่ละช่วงเวลาพบว่า อุณหภูมิของน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนที่ได้จากการทดลองจริงมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับอุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนที่ได้จากการคำนวณ โดยอุณหภูมิในถังเก็บน้ำร้อนที่ได้จากการทดลองจริงมีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 62.94°C และอุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนที่เพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงเวลาที่ได้จากการคำนวณมีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 60.24°C และจากการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน (Error) ของข้อมูลพบว่ามีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 4.69%

2. การศึกษาอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งวัสดุปลูกที่นำมาทดสอบมีค่าความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 15.73%wb วัสดุปลูกมีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.57 W/m·°C ซึ่งอัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่สามารถถ่ายเทความร้อนให้แก่วัสดุปลูกได้เหมาะสมที่สุดได้แก่ อัตราการไหลของน้ำร้อนเท่ากับ 1.5 L/min เนื่องจากเป็นอัตราการไหลที่ช้าที่สุดในเงื่อนไขของการทดสอบจึงแสดงให้เห็นว่า เมื่อน้ำร้อนซึ่งเป็นสารทำงานในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน หากน้ำร้อนเกิดการเคลื่อนที่ช้าๆ จะทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนได้นานขึ้น ซึ่งสามารถถ่ายเทความร้อนให้แก่วัสดุปลูกจนสามารถรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่ค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ได้เฉลี่ยเป็นเวลาเท่ากับ 4 hr 39 min มีค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความ

ร้อนไปยังวัสดุปลูกเท่ากับ $37.15 \text{ W/m}^2\cdot\text{C}$ และประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกเท่ากับ 10.42%

3. การศึกษาค่าความชื้นในวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิวัสดุปลูกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งค่าความชื้นในวัสดุปลูกที่สามารถได้รับการถ่ายเทความร้อนจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้ดีที่สุดได้แก่ วัสดุปลูกที่มีค่าความชื้นเท่ากับ 45%wb วัสดุปลูกมีการนำความร้อนเท่ากับ $1.70 \text{ W/m}^2\cdot\text{C}$ สามารถรับการถ่ายเทความร้อนจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและรักษาอุณหภูมิของวัสดุปลูกให้มีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ได้เฉลี่ยเวลาเท่ากับ 5 hr 10 min เนื่องจากเป็นวัสดุปลูกที่มีค่าความชื้นที่มากที่สุดในงานของการทดสอบ จึงแสดงให้เห็นว่าความชื้นในวัสดุปลูกนั้นมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนระหว่างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและวัสดุปลูกเป็นอย่างมาก มีค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไปยังวัสดุปลูกเท่ากับ $56.44 \text{ W/m}^2\cdot\text{C}$ และมีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกเท่ากับ 13.57%

4. การศึกษาการฆ่าเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในวัสดุปลูกพืชที่เป็นสาเหตุก่อให้เกิดโรคเหี่ยวในพืช การทำงานของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนร่วมกับระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ไม่สามารถที่จะทำการกำจัดเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ได้หมด แต่สามารถลดจำนวนของเชื้อให้น้อยลง

ข้อเสนอแนะ

1. ในการทดสอบไม่ได้มีการหุ้มฉนวนบริเวณด้านใต้ของกระบอกทดสอบ เนื่องจากเป็นช่องสำหรับติดตั้งไลต์เพื่อนำเอาวัสดุปลูกออกจากกระบอก จึงอาจส่งผลให้เกิดการสูญเสียความร้อนและทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบฆ่าเชื้อวัสดุปลูกลดลง

2. ในการออกแบบการหมุนเวียนน้ำร้อนสำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้ใช้ถังเก็บน้ำร้อนทั้งหมด 3 ถัง ซึ่งอาจทำให้เกิดการสูญเสียความร้อน ดังนั้นวิธีแก้ไขปัญหาคือควรลดจำนวนถังเก็บน้ำร้อนให้เหลือเพียง 2 ถัง ซึ่งยังเพียงพอต่อการใช้งาน และการออกแบบความยาวของท่อน้ำร้อน PPR สำหรับลำเลียงน้ำร้อนในระบบ ควรออกแบบให้มีความยาวของท่อน้ำร้อนให้สั้นที่สุดเพื่อลดการสูญเสียความร้อนจากระบบสู่สิ่งแวดล้อม

บรรณานุกรม

- Kongkiattikajorn, J. and Thepa, S. 2007. Increased Tomato Yields by Heat Treatment for Controlling *Ralstonia solanacearum* in Soil. pp. 219-224. In **Thai National AGRIS Centre, Kasetsart University**. 31 December 2007.
- Mansoori, B. and Jaliani, N. Kh. 1996. Control of soilborne pathogens of watermelon by solar heating. pp. 423-424. In **Crop Protection**, 15(5), 1 August 1996.
- Pérez-de-los-Reyes, Caridad, Porras-Soriano and M, A. and Soriano, L. 2009. Use of flat plate solar collectors and parabolic trough concentrators for greenhouse soil disinfection. In **Spanish Journal of Agricultural Research**, (7), 1 June 2009.
- Phitthayarachasak, Thanatp, Thepa, Sirichai and Kongkiattikajorn, Jirasak. 2009. Solar energy system reduces time taken to inhibit microbial growth in soil. pp. 2467-2473. **Renewable Energy**, 34(11), 1 November 2009.
- Soil Solarization**. 2005. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.hgtv.com/outdoors/gardens/planting-and-maintenance/soil-solarization-how-to>
- Solar collector**. 2014. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.eakaphatenergy.com/index.php?ProductID=Product-110504153784064>
- Thermosyphon Heat Exchanger**. 2011. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.theenergy.biz/solar%20collector.html>
- Zen hydroponics. 2015. การปลูกพืชในวัสดุทดแทนดิน (Substrate culture). [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://zen-hydroponics.blogspot.com/2015/05/substrate-culture.html>
- เกียรติศักดิ์ บุญชูอรุณเนตร. 2558. **สมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ตัวรับรังสีแบบท่อสุญญากาศร่วมกับท่อเทอร์โมไซฟอน และมีวัสดุเปลี่ยนสถานะ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์. 2551. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.thaienergyaving.com>
- กันต์พงศ์ มณีเล็ก เจตตพล อัมภาททรัพย์สินธุ์ และ สุลักษณ์ มงคล. 2559. ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบต้นทุนต่ำสำหรับใช้ในบ้านพักอาศัย. ใน **การถ่ายเทพลังงานความร้อน และมวลในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และกระบวนการ (ครั้งที่ 15)**. 30-31 มีนาคม 2559 ณ โรงแรม แล รีสอร์ท สมุย. สุราษฎร์ธานี.

- การใช้ประโยชน์จากพลังงานความร้อนของแสงอาทิตย์. 2557. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://ienergyguru.com/2015/07/solar-thermal-heat-system/>
- กุสุมณ สมัครคำ. 2547. การพัฒนาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำร้อนกับดินเพื่อใช้ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- จิรศักดิ์ คงเกียรติขจร ธนเทพ ทิพย์ราชศักดิ์ และ ศิริชัย เทพา. ม.ป.ป. การศึกษาการอบดินด้วยแสงอาทิตย์ร่วมกับการใช้ตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตรต่อเชื้อ *Ralstonia solanacearum* และการเจริญต้นอ่อนมะเขือเทศ. ใน คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ชิตชนก แสนศรี ศิริชัย เทพา จิรศักดิ์ คงเกียรติขจร และ รุ่งโรจน์ สงค์ประกอบ. 2554. การผลิตน้ำร้อนด้วยระบบตัวรวมรังสีรูปประกอบพาราโบล่าที่มีหลอดแก้วสุญญากาศเป็นตัวรับรังสีอาทิตย์เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในดิน. น. 844-851. ใน การประชุมวิชาการ (ครั้งที่ 8) ตามรอยพระยุคลบาท เกษตรศาสตร์กำแพงแสน. 8-9 ธันวาคม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. นครปฐม.
- ชิตี ศรีตันทิพย์ สันติ ช่างเจรจา และ ยุทธนา เขาสุเมรุ. 2556. การปลูกพืชไร่น้ำดินต้นทุนต่ำเชิงการค้าในชุมชน. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.clinictech.ops.go.th/online/cmo/FinalReport/2017271550271.pdf>
- ณัฐพงษ์ แกมทับทิม และ ศิริชัย เทพา. 2562. การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ในดินเพาะปลูกด้วยการปล่อยน้ำร้อนจากท่อแนวตั้ง. วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ปีที่ 4, (1) น. 34-42.
- ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ. 2557. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Soilless Culture). [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.eto.ku.ac.th/neweto/e-book/other/soliless%20plants.pdf>
- นัฐพร ไชยญาติ. 2560. การออกแบบระบบพลังงานทดแทน. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักงานบริหารและพัฒนาวิชาการ.
- บัณฑิต นุชนิยม. 2544. การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการฆ่าเชื้อโรคในดินด้วยพลังงานแสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ปริยาภรณ์ โกงศร. 2543. เชื้อแบคทีเรีย *Ralstonia Solanacearum*. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.lib.kps.ku.ac.th/SpecialProject/Agricultural_Engineering/2547/Bs/BencharongPr/chapter2.pdf
- ปัญหาการผลิตและการจัดการ. 2558. แผนวิจัยแนวทางเกษตรธรรมชาติที่ยั่งยืน. [ระบบออนไลน์].

แหล่งที่มา https://hmong.in.th/wiki/Soil_steam_sterilization

ผ่องศรี ศิวราศักดิ์. 2554. **Heat Transfer**. พิมพ์ครั้งที่ 2. บริษัท ทริปเพิ้ล กรุ๊ป จำกัด.

พลังงานแสงอาทิตย์กับประเทศไทย. 2556. **แผนที่ตั้งหน่วยผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://new.2e-building.com/content/%E0%B8%9E%E0%B8%A5%E0%B8%B1%E0%B8%87%E0%B8%87%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B9%81%E0%B8%AA%E0%B8%87%E0%B8%AD%E0%B8%B2%E0%B8%97%E0%B8%B4%E0%B8%95%E0%B8%A2%E0%B9%8C%E0%B8%81%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B9%80%E0%B8%97%E0%B8%A8%E0%B9%84%E0%B8%97%E0%B8%A2>

ระบบการปลูกผักโดยไม่ใช้ดินในรูปแบบต่างๆ. 2553. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.h2ohydrogarden.com/%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%A3%E0%B8%B9%E0%B9%89%E0%B9%80%E0%B8%9A%E0%B8%B7%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%95%E0%B9%89%E0%B8%99/%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%9A%E0%B8%9A%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%9B%E0%B8%A5%E0%B8%B9%E0%B8%81%E0%B8%9C%E0%B8%B1%E0%B8%81%E0%B9%84%E0%B8%AE%E0%B9%82%E0%B8%94%E0%B8%A3.html>

วัสดุขยายพันธุ์พืช. 2547. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.nanagarden.com/product/250236>

ศศิวิมล กนกกันทพงษ์. 2553. **การหาระบบฆ่าเชื้อโรคในดินที่เหมาะสมโดยใช้โซลาร์เซลล์ และรวบรวมแสงแบบพาราโบลา**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. สหัตถยา ทองสาร ทรายุทธ วัลย์วุฒิ สมชาย เจียจิตต์สวัสดิ์ และจิราพร ตั้งใจ. 2553. การออกแบบชุดระบายความร้อนใต้ผิวดินสำหรับระบบไฮโดรโปนิคส์. น. 176-184. ใน **การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย (ครั้งที่ 5)**. 18-20 ธันวาคม 2553. มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.

สุมาลี เม่นสิน. 2563. **ใช้สารชีวภัณฑ์ป้องกันโรคเหี่ยวเฉียวของพริกอย่างไรให้เกิดผล**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.hrdi.or.th/Articles/Detail/55>



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก.
ตัวอย่างการคำนวณ

1.) ตัวอย่างการคำนวณอุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนที่เพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงเวลา

กำหนด วันที่ 6 มีนาคม 2562 เวลา 16:00 น. ในการทดสอบระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

$$\begin{array}{lll} T_s = 60.04^\circ\text{C} & C_p = 4,187 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C} & A_c = 2.4 \text{ m}^2 \\ F_R(\tau\alpha)_e = 0.5645 & F_R U_L = 5.4121 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C} & \Delta t = 300 \text{ s} \\ M = 150 \text{ kg} & T_{fi} = 60.04^\circ\text{C} & T_a = 33.3^\circ\text{C} \end{array}$$

$$\text{จากสมการ } T_s^{t+\Delta t} = T_s + \frac{A_c \Delta t}{(MC_p)_s} [F_R(\tau\alpha)_e I_T - F_R U_L (T_{fi} - T_a)]$$

$$T_s^{t+\Delta t} = 60.04 + \frac{(2.4)(300)}{(150)(4,187)} [(0.5645)(572.6) - (5.4121)(60.04 - 33.3)]$$

$$T_s^{t+\Delta t} = 60.24^\circ\text{C}$$

2.) ตัวอย่างการคำนวณหาความยาวของท่อทองแดงที่จะนำมาเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในวัสดุปลูก

กำหนดขนาดของท่อทองแดง

- ท่อทองแดงชนิด Type M ขนาด 3/8 inch
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในท่อ ($D_{\text{Tube,in}}$) เท่ากับ 9.5 mm หรือ 0.0095 m
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกท่อ ($D_{\text{Tube,out}}$) เท่ากับ 10 mm หรือ 0.01 m
- พื้นที่หน้าตัดท่อทองแดง (A_{Tube}) เท่ากับ $7.08 \times 10^{-5} \text{ m}^2$

กำหนดคุณสมบัติทางความร้อนสารทำงานด้านในท่อทองแดง

- ของไหลที่ไหลผ่านด้านในท่อ คือ น้ำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์
- อุณหภูมิน้ำเข้าท่อทองแดง (T_{in}) เท่ากับ 55°C
- อุณหภูมิน้ำออกท่อทองแดง (T_{out}) เท่ากับ 30.5°C
- อุณหภูมิของไหลเฉลี่ยทั้งก้อน ($T_{\text{aver,water}}$) เท่ากับ 42.75°C
- ค่าการนำความร้อน (k_{water}) ของน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 42.75°C เท่ากับ $0.634 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$
- ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (C_p) ของน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 42.75°C เท่ากับ $4,180 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$

- ค่าความหนืดเชิงพลศาสตร์ (μ_{liquid}) ของน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 42.75°C เท่ากับ 0.000625 kg/m·s
- ค่าเลขพรีนดท์เทิล (Pr) ของน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 42.75°C เท่ากับ 4.12
- อัตราการไหลของน้ำร้อนท่อทองแดง (ก้ำ) เท่ากับ 0.04 L/s หรือ 2.4 L/min

ขั้นตอนที่ 1) หาความเร็วฟลักซ์เชิงมวล

$$\text{จากสมการ } G = \frac{\dot{m}}{A_{\text{Tube}}}$$

$$G = \frac{(0.04)}{(7.08 \times 10^{-5})}$$

$$G = 564.6 \text{ kg/m}^2\cdot\text{s}$$

ขั้นตอนที่ 2) หาเลขเรย์โนลด์

$$\text{จากสมการ } Re = \frac{GD_{\text{Tube,in}}}{\mu_{\text{liquid}}}$$

$$Re = \frac{(564.6)(0.0095)}{(0.000625)}$$

$$Re = 8,581.96 \text{ (แสดงว่าเป็นการไหลแบบปั่นป่วน)}$$

ขั้นตอนที่ 3) หาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในท่อของน้ำร้อน

$$\text{จากสมการ } h = \frac{0.023Re^{0.8}Pr^{0.4}k_{\text{water}}}{D_{\text{Tube,in}}}$$

$$h = \frac{(0.023)(8,581.96)^{0.8}(4.12)^{0.4}(0.634)}{(0.0095)}$$

$$h = 3,792.47 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$$

ขั้นตอนที่ 4) หาคความยาวของท่อทองแดง

$$\text{จากสมการ } T_{\text{out}} = T_{\text{surface,Tube}} - (T_{\text{surface,Tube}} - T_{\text{in}}) \exp \left[-\frac{\pi D_{\text{Tube,in}} L}{\dot{m} C_p} h \right]$$

จัดรูปสมการ

$$(T_{\text{out}} - T_{\text{surface,Tube}}) = -[(T_{\text{surface,Tube}} - T_{\text{in}}) \exp \left[-\frac{\pi D_{\text{Tube,in}} L}{\dot{m} C_p} h \right]]$$

คูณ (-) ทั้งสองข้าง

$$(T_{\text{surface,Tube}} - T_{\text{out}}) = (T_{\text{surface,Tube}} - T_{\text{in}}) \exp \left[-\frac{\pi D_{\text{Tube,in}} L}{\dot{m} C_p} h \right]$$

จัดรูปสมการ

$$\left[\frac{T_{\text{surface,Tube}} - T_{\text{out}}}{T_{\text{surface,Tube}} - T_{\text{in}}} \right] = \exp \left[-\frac{\pi D_{\text{Tube,in}} L}{\dot{m} C_p} h \right]$$

คูณ (ln) ทั้งสองข้าง

$$\ln \left[\frac{T_{\text{surface,Tube}} - T_{\text{out}}}{T_{\text{surface,Tube}} - T_{\text{in}}} \right] = \left[-\frac{\pi D_{\text{Tube,in}} L}{\dot{m} C_p} h \right]$$

จัดรูปสมการ

$$-L = \frac{\dot{m} C_p \left[\ln \frac{T_{\text{surface,Tube}} - T_{\text{out}}}{T_{\text{surface,Tube}} - T_{\text{in}}} \right]}{\pi D_{\text{Tube,in}} h}$$

$$-L = \frac{(0.04)(4,180) \left[\ln \frac{(30.4 - 30.5)}{(30.4 - 55)} \right]}{(3.14)(0.0095)(3,792.47)}$$

$$-L = 8.63 \text{ m}$$

จากผลการคำนวณหาความยาวของท่อทองแดงที่จะนำมาเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในวัสดุปลูกพบว่า ท่อทองแดงสำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีความยาวประมาณเท่ากับ 8.63 m จึงได้ทำการออกแบบโดยวางท่อขนานกันทั้งหมด 12 ท่อ แต่ละท่อมีความยาวท่อละ 0.8 m ระยะห่างระหว่างผิวท่อเท่ากับ 6.3 cm ดังนั้นจะได้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับการฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกในรูปแบบของกระบะทดสอบทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ทำจากแผ่นเหล็กหนา 1 mm ซึ่งกระบะทดสอบสำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะมีขนาดกว้าง 35.5 cm ยาว 80 cm และสูง 30 cm

3.) ตัวอย่างการคำนวณค่าการนำความร้อนของวัสดุปลูก

กำหนด วัสดุปลูกมีค่าความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 15.73%wb

$$Q_{\text{cond}} = 110 \text{ W} \quad L = 0.025 \text{ m} \quad A = 0.09 \text{ m}^2$$

$$T_1 = 94.04^\circ\text{C} \quad T_2 = 39.74^\circ\text{C}$$

$$\text{จากสมการ } k = Q_{\text{cond}} \frac{L}{A(T_1 - T_2)}$$

$$k = (110) \frac{(0.025)}{(0.09)(94.04 - 39.74)}$$

$$k = 0.56 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$$

4.) ตัวอย่างการคำนวณสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

กำหนด วันที่ 13 พฤศจิกายน 2562 อัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 1.5 L/min วัสดุปลูกมีค่าความชื้นเท่ากับ 15.1%wb-15.9%wb เวลา 17:00 น.

$$\dot{m} = 0.025 \text{ kg/s}$$

$$C_p = 4,187 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{in,Hex}} = 70.7^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{out,Hex}} = 67^\circ\text{C}$$

$$A_{\text{Tube}} = 0.3 \text{ m}^2$$

$$T_{\text{in,soil}} = 32.38^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{out,soil}} = 32.51^\circ\text{C}$$

ขั้นตอนที่ 1) หาอัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

$$\text{จากสมการ } Q_{\text{Hex}} = \dot{m}C_p(T_{\text{in,Hex}} - T_{\text{out,Hex}})$$

$$Q_{\text{Hex}} = (0.025)(4,187)(70.7 - 67)$$

$$Q_{\text{Hex}} = 387.3 \text{ W}$$

ขั้นตอนที่ 2) หาผลต่างอุณหภูมิสูงสุด

$$\text{จากสมการ } \Delta T_{\text{max}} = T_{\text{in,Hex}} - T_{\text{in,soil}}$$

$$\Delta T_{\text{max}} = 70.7 - 32.38$$

$$\Delta T_{\text{max}} = 38.32^{\circ}\text{C}$$

ขั้นตอนที่ 3) หาผลต่างอุณหภูมิต่ำสุด

$$\text{จากสมการ } \Delta T_{\text{min}} = T_{\text{out,Hex}} - T_{\text{out,soil}}$$

$$\Delta T_{\text{min}} = 67 - 32.51$$

$$\Delta T_{\text{min}} = 34.49^{\circ}\text{C}$$

ขั้นตอนที่ 4) หาผลต่างอุณหภูมิเชิงลอการิทึม

$$\text{จากสมการ } \Delta T_{\text{LMTD}} = \frac{\Delta T_{\text{max}} - \Delta T_{\text{min}}}{\ln\left[\frac{\Delta T_{\text{max}}}{\Delta T_{\text{min}}}\right]}$$

$$\Delta T_{\text{LMTD}} = \frac{(38.32 - 34.49)}{\ln\left[\frac{38.32}{34.49}\right]}$$

$$\Delta T_{\text{LMTD}} = 36.37^{\circ}\text{C}$$

ขั้นตอนที่ 5) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

$$\text{จากสมการ } Q_{\text{Hex}} = UA\Delta T_{\text{LMTD}}$$

จัดรูปสมการ

$$U = \frac{Q_{\text{Hex}}}{A\Delta T_{\text{LMTD}}}$$

$$U = \frac{(387.3)}{(0.3)(36.37)}$$

$$U = 35.5 \text{ W/m}^2\cdot\text{C}$$

5.) ตัวอย่างการคำนวณค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบฆ่าเชื้อในวัสดุปลูก

กำหนด วันที่ 13 พฤศจิกายน 2562 อัตราการไหลของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 1.5 L/min วัสดุปลูกมีค่าความชื้นเท่ากับ 15.1%-15.9%

$$Q_s = 14.78 \text{ MJ} \quad T_s = 63.02^\circ\text{C} \quad Q_{\text{Hex}} = 2.32 \text{ MJ}$$

$$I = 6.8 \text{ A} \quad V = 220 \text{ V}$$

ขั้นตอนที่ 1) หาความร้อนจากฮีตเตอร์

จากความสามารถของฮีตเตอร์ 1 hr สามารถเพิ่มอุณหภูมิน้ำร้อนได้ 10°C

$$\text{ผลต่างของอุณหภูมิที่ต้องการ } 70 - 63.02 = 6.98^\circ\text{C}$$

$$\text{แล้ว } 6.98^\circ\text{C} \text{ ใช้เวลา } \frac{7}{10} = 0.7 \text{ hr}$$

กำลังไฟฟ้าจากฮีตเตอร์ จากสมการ $P = IV$

$$P = (2.66)(220)$$

$$P = 2.99 \text{ kW}$$

กำลังไฟฟ้าจากฮีตเตอร์คูณด้วยเวลา (t) ที่ใช้ฮีตเตอร์เท่ากับ (Pt)

$$Pt = 2.99 \times 0.7 = 2.09 \text{ kWh}$$

จากสมการ $Q_{\text{Heater}} = (Pt) \times 3.6$

$$Q_{\text{Heater}} = (2.09) \times 3.6$$

$$Q_{\text{Heater}} = 7.51 \text{ MJ}$$

ขั้นตอนที่ 2) หาค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบฆ่าเชื้อในวัสดุปลูก

$$\text{จากสมการ } \eta_{\text{Heat exchanger}} = \frac{\text{output}}{\text{input}} = \left[\frac{Q_{\text{Hex}}}{Q_{\text{Storage}} + Q_{\text{Heater}}} \right] \times 100$$

$$\eta_{\text{Heat exchanger}} = \frac{\text{output}}{\text{input}} = \left[\frac{(2.32)}{(14.78 + 7.51)} \right] \times 100$$

$$\eta_{\text{Heat exchanger}} = 10.42\%$$



ภาคผนวก ข.
เผยแพร่ผลงานวิจัย

การเผยแพร่งานวิจัย

เผยแพร่ผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการจำนวน 2 บทความวิจัย

บทความที่ 1 เรื่อง การพัฒนาระบบฆ่าเชื้อวัสดุปลูกพืชด้วยระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ในการประชุมวิชาการเรื่อง การถ่ายเทพลังงานความร้อน และมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน และกระบวนการ ครั้งที่ 19 ระหว่างวันที่ 12-13 มีนาคม พ.ศ.2563 ณ เจ้าหลาว คาบนา ริสอร์ท จังหวัดจันทบุรี

บทความที่ 2 เรื่อง การศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของระบบฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกที่ใช้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ ในการประชุมวิชาการ และเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ และนานาชาติ ครั้งที่ 12 “Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward 2021” วันที่ 15 มกราคม พ.ศ.2564 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา กรุงเทพมหานคร



การพัฒนาระบบฆ่าเชื้อวัสดุปลูกพืชด้วยระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

สุทธิพงษ์ แก้วปัญญา และ สุลักษณ์ มงคล*

การประชุมวิชาการเรื่อง การถ่ายเทพลังงานความร้อน และมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน และ
กระบวนการ ครั้งที่ 19

ระหว่างวันที่ 12-13 มีนาคม พ.ศ.2563 ณ เจ้าหลาว คาบนา รีสอร์ท จังหวัดจันทบุรี



ประชุมวิชาการเรื่อง
การถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวล
 ในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ ครั้งที่ 19
 ระหว่างวันที่ 12-13 มีนาคม 2563
 ณ เจ้าหลาว คานาน่า รีสอร์ท
 จังหวัดจันทบุรี

สารบัญ (ต่อ)

| เรื่อง | หน้า | |
|--------------|--|-----|
| บทความที่ 40 | ผลของเทสทินและการเผาไหม้ร่วมกับถ่านหินต่อมรเคลื่อนย้ายของโพแทสเซียมและคลอรีนบน: การเผาไหม้ฟางข้าวและเกสร INFLUENCE OF ADDITIVE AND CO-FIRING WITH COAL ON POTASSIUM AND CHLORINE MIGRATION DURING RICE STRAW AND HUSK COMBUSTION | 277 |
| บทความที่ 41 | ลักษณะการถ่ายเทความร้อนของเจ็ทพุ่งชนในช่องการไหลที่หมุน HEAT TRANSFER CHARACTERISTICS OF IMPINGING JETS IN ROTATION CHANNEL | 283 |
| บทความที่ 42 | การวิเคราะห์สมรรถนะของการใช้สารผสมและสารบริสุทธิ์เป็นสารทำงานในโรงไฟฟ้าโออาร์ซีที่แหล่งความร้อนมีอุณหภูมิ 100 - 300 องศาเซลเซียส PERFORMANCE ANALYSIS OF USING ZEOTROPIC MIXTURES AND PURE WORKING FLUIDS IN AN ORC POWER PLANT WITH A HEAT SOURCE TEMPERATURE OF 100 - 300°C | 289 |
| บทความที่ 43 | การจำลองและการทดสอบระบบเดินอากาศแบบน้ำไหลเวียนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ SIMULATION AND EXPERIMENTAL STUDY OF A SOLAR CIRCULATING-WATER AERATION SYSTEM | 296 |
| บทความที่ 44 | การศึกษาเชิงเปรียบเทียบของโรงไฟฟ้าโออาร์ซีและทีแอลซี COMPARATIVE STUDY OF AN ORC AND TLC POWER PLANT | 305 |
| บทความที่ 45 | การศึกษาระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนทำงานร่วมกับเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยโดยการทดลอง AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF AN INTEGRATED SYSTEM OF SPLIT AIR CONDITIONER AND INDIRECT EVAPORATIVE COOLER | 311 |
| บทความที่ 46 | การศึกษาประสิทธิภาพการเติมอากาศของเครื่องเติมอากาศแบบกังหันน้ำและแบบวนจูล์สำหรับเติมอากาศปล่อเลี้ยงปลา AERATION EFFICIENCY STUDY OF PADDLE WHEEL AND VENTURI AFRATOR FOR TIAPA FISH POND | 319 |
| บทความที่ 47 | การพัฒนากระบวนการฆ่าเชื้อวัสดุปลูกพืชด้วยระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ DEVELOPMENT OF PLANTING MEDIA STERILIZATION BY SOLAR WATER HEATING SYSTEM | 325 |
| บทความที่ 48 | การจำลองเครื่องทำความเย็นชนิดน้ำระเหยแบบอินดิเรกต์ SIMULATION OF AN INDIRECT EVAPORATIVE COOLER | 337 |
| บทความที่ 49 | การควบคุมการฟุ้งกระจายฝุ่นถ่านหินบริเวณโม่บดด้วยแผ่นอากาศร่วมกับทรูดอากาศ CONTROL OF COAL PARTICLE DISPERSION OVER CRUSHER BY AIR CURTAIN WITH AIR SUCTION. SIMULATION OF AN INDIRECT EVAPORATIVE COOLER | 345 |

การพัฒนาระบบฆ่าเชื้อวัสดุปลูกพืชด้วยระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์
DEVELOPMENT OF PLANTING MEDIA STERILIZATION BY SOLAR WATER HEATING SYSTEM

สุทธิพงษ์ แก้วปัญญา

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
จังหวัดเชียงใหม่ 50290
Email: tam-50cent_500@hotmail.com

สุลักษณ์ มงคล*

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
จังหวัดเชียงใหม่ 50290
โทรศัพท์ 0-533-3194
โทรสาร 0-533-3194
Email: s_mongkon@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบฆ่าเชื้อวัสดุปลูกพืชด้วยระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบขนาด 2.4 m² และอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เหมาะสมของชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ในการศึกษาได้ทำการผลิตน้ำร้อนตั้งแต่เวลา 8:00-16:00 น. และนำไปอบวัสดุปลูกในกระถางที่มีขนาดกว้าง 35.5 cm ยาว 80 cm และสูง 30 cm ที่ติดตั้งชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำจากท่อทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว ยาว 9.6 m โดยวางท่อขนานกันทั้งหมด 12 ท่อ ระยะห่างระหว่างท่อ 6.3 cm และป้อนน้ำร้อนเข้าสู่ชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่อัตราการไหลของน้ำ 1.5, 2, 2.5 และ 3 Liter/min ตามลำดับ ผลการทดสอบพบว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ทำการทดสอบสามารถผลิตน้ำร้อนได้เฉลี่ย 70 °C และอัตราการไหล 1.5 Liter/min เป็นอัตราการไหลที่ดีที่สุด ซึ่งสามารถถ่ายเทความร้อนให้แก่วัสดุปลูกมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 48.24 °C ได้เป็นเวลาเฉลี่ย 4 ชั่วโมง 39 นาที

คำสำคัญ: ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ วัสดุปลูก ระบบฆ่าเชื้อ

Abstract

This research aims to develop planting media sterilization by solar water heating system having 2.4 m² flat plate solar collector and find out the suitable water flow rate. In the study, the hot water was produced between 8 a.m. to 4 p.m. and after that it was taken to sterilize the planting media in a tray (35.5 cm x 80 cm x 30 cm) having a heat exchanger made of 12 parallel copper tubes each of 3/8 inch in diameter and 9.6 m in length with a distance between tubes of 6.3 cm. The hot water was fed into the heat exchanger at the water flow rates of 1.5, 2, 2.5 and 3 Liter/ min. The test result showed that the solar collector could produce average hot water temperature at 70 °C and the suitable water flow rate was 1.5 Liter/min which could generate the plant media with an average temperature of 48.24 °C for an average operating period of 4 hours 39 minutes.

Keywords: Solar water heating system, Flat plate solar collector, Planting media, Sterilization system

| รายการสัญลักษณ์ | | | |
|---------------------|---|---------------|---|
| A_c | คือ พื้นที่แผงรับรังสีอาทิตย์ (m^2) | Q | คือ อัตราความร้อนที่ได้จากอุปกรณ์ทำความร้อน (W) |
| C_p | คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ ($J/kg \cdot K$) | Q_{coll} | คือ อัตราความร้อนที่ได้รับจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (W) |
| D | คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (m) | q_s | คือ ค่าอัตราการนำความร้อน (W) |
| E | คือ แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมอุปกรณ์ทำความร้อน (V) | Re | คือ เลขเรย์โนลด์สในเบอร์ |
| $F_R(\tau\alpha)_c$ | คือ ค่าสุดท้ายของรังสีอาทิตย์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ | T_{amb} | คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ($^{\circ}C$) |
| $F_R U_L$ | คือ ค่าการสูญเสียความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ($W/m^2 \cdot ^{\circ}C$) | T_{fi} | คือ อุณหภูมิน้ำเข้าระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ($^{\circ}C$) |
| h | คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($W/m^2 \cdot K$) | T_{fo} | คือ อุณหภูมิน้ำออกระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ($^{\circ}C$) |
| I | คือ กระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์ทำความร้อน (A) | T_{in} | คือ อุณหภูมิของไหลเฉลี่ยตรงทางเข้าของท่อแดง ($^{\circ}C$) |
| I_T | คือ ค่ารังสีอาทิตย์ (W/m^2) | T_{out} | คือ อุณหภูมิของไหลเฉลี่ยตรงทางออกของท่อแดง ($^{\circ}C$) |
| k | คือ ค่าสภาพการนำความร้อน ($W/m \cdot K$) | T_S | คือ อุณหภูมิผิวของท่อแดง ($^{\circ}C$) |
| L | คือ ระยะทางการเคลื่อนที่ของความร้อน (m) | T_s | คือ อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน ($^{\circ}C$) |
| M | คือ มวลของน้ำ (kg) | T_s^{1+M} | คือ อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนเมื่อเวลาเปลี่ยนไป ($^{\circ}C$) |
| \dot{m} | คือ อัตราการไหลสารทำงาน (Liter/min) | Δt | คือ ช่วงเวลาที่เปลี่ยนแปลง (s) |
| Nu | คือ เลขนัสเซิลต์ | η_{coll} | คือ ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (%) |
| Pr | คือ เลขพรันด์เทิล | | |

1. บทนำ

ในการปลูกพืชแบบไร้ดิน หรือ Soilless Culture วัสดุปลูกที่จะนำมาปลูกพืชส่วนใหญ่จะมีความเสี่ยงจากการระบาดของเชื้อโรคที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคในพืช และสร้างความเสียหายต่อพืชผลทางการเกษตร ดังนั้นจึงต้องหาทางป้องกันโรคในพืชโดยการฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกก่อนนำไปเพาะปลูก วิธีการฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งวิธีที่นิยมในปัจจุบัน เช่น การฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำ การรมด้วยแก๊ส และการราดด้วยสารเคมี ซึ่งวิธีที่กล่าวมาข้างต้นส่วนใหญ่จะมีต้นทุนที่สูง ขั้นตอนยุ่งยากซับซ้อน และทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติและสิ่งแวดล้อมต่อสิ่งแวดล้อม [1]

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งปีค่อนข้างสูง โดยพบว่ามีค่าอยู่ในระหว่าง 20-24 MJm⁻²day [2] ซึ่งมีศักยภาพที่สูงพอที่จะนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ รวมทั้งนำความร้อนมาฆ่าเชื้อในวัสดุปลูก หรือเรียกว่า Solarization โดยการนำพลาสติกคลุมดินหรือวัสดุปลูกที่ไว้ประมาณ 2 สัปดาห์เพื่อฆ่าเชื้อโรคในดิน อย่างไรก็ตามวิธีการนี้จะใช้เวลาค่อนข้างนาน การนำความร้อนจากแสงอาทิตย์มาใช้ทำน้ำร้อนถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับทำความร้อนการฆ่าเชื้อหรือทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar collector) เป็นตัวแปลงพลังงานและเก็บสะสมพลังงานความร้อนแล้วถ่ายเทความร้อนให้แก่พื้นที่ไหลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นได้ตั้งแต่ 40-70 °C ซึ่งน้ำร้อนที่ได้สามารถนำมาใช้ในการฆ่าเชื้อในดินหรือวัสดุปลูกได้ และใช้เวลาสั้นลงเมื่อเทียบกับการฆ่าเชื้อแบบเดิม สำหรับงานวิจัยที่ทำการศึกษาก่อนประยุกต์ใช้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์มาทำการฆ่าเชื้อในดินเพื่อควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ เช่น A. Pras-Soriano [3] ได้ทำการศึกษากการใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ (Flat plate

collector) ร่วมกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดรางพาราโบลิก (Parabolic collector) มาทำน้ำร้อนและถ่ายเทความร้อนให้แก่ดินเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในดินภายในโรงเรือนพบว่า สามารถเพิ่มอุณหภูมิของดินได้สูงถึงประมาณ 50-60 °C และสูงกว่ากรณีที่มีการอบดินด้วยแสงอาทิตย์โดยการคลุมหน้าดินด้วยพลาสติกเพียงอย่างเดียวที่อุณหภูมิของดินเท่ากับ 40 °C สำหรับตัวอย่างงานวิจัยในประเทศเช่น P. Thanathep [4] ได้ทำการศึกษากการลดระยะเวลาในการฆ่าเชื้อในดินด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการพัฒนาตัวเก็บรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลิกแบบไม่สมมาตร (ACPC) ให้สามารถทำน้ำร้อนร่วมกับการใช้พลาสติกคลุมบริเวณผิวดินพบว่า สามารถลดระยะเวลาในการฆ่าเชื้อในดินจาก 4-6 สัปดาห์เหลือเพียง 4 ชั่วโมง และสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในดินได้ที่ระดับความลึกมากกว่า 50 cm ได้ในระยะเวลาอันสั้น บัณฑิต นุชนิยม [5] ได้ทำการศึกษาอุณหภูมิของดินที่ระดับความลึกที่ 0, 10, 20, 30 และ 50 cm โดยเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิของระบบที่ไม่มีการคลุมดินด้วยพลาสติกกับระบบที่มีการคลุมดินด้วยพลาสติกใสขนาดกว้าง 1 m ยาว 1 m และสูง 0.3 m จากการศึกษาพบว่า ระบบที่มีการคลุมดินด้วยพลาสติกใสจะมีอุณหภูมิสูงกว่า

ระบบที่ไม่มีการคลุมดินด้วยพลาสติกใสประมาณ 4-6 °C กุศลณ สมศิริคำ [6] ได้ศึกษาการพัฒนาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำร้อนกับดินเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในดิน โดยการนำแผงรับรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลิก เป็นอุปกรณ์ทำน้ำร้อนส่งให้ทำน้ำร้อนถ่ายโอนความร้อนให้กับดินผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 3 แบบ คือ แบบท่อเดี่ยว แบบท่อนานสองท่อ และแบบท่อนานสี่ท่อ มีลองในแปลงดินขนาดกว้าง 1 m ยาว 2 m ที่ระดับความลึก 25 cm และคลุมดินด้วยแผ่นพลาสติกใส พบว่า อุณหภูมิดินจะเพิ่มขึ้นตามเวลาและสูงสุดที่ 75 °C และได้ศึกษาพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบฆ่าเชื้อในดินโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อมาทำน้ำร้อนอุณหภูมิของดิน ซึ่งผลการทำนายให้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริงโดยมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยประมาณ 6 % ซิตชนก แสนศรี และคณะ [7] ได้ทำการศึกษาระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์เพื่อใช้ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ในดินด้วย โดยการประยุกต์ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลิกที่มีท่อสุญญากาศเป็นตัวรับรังสี พบว่าสามารถเพิ่มอุณหภูมิของน้ำร้อนในระบบมีค่าสูงถึง 48.8 °C ซึ่งน้ำร้อนที่ได้สามารถนำมาใช้ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ *Rastonia Solanacearum* ได้ที่ 45 °C

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้น เห็นได้อย่างชัดเจนว่า การผลิตน้ำร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถนำมาใช้ในการฆ่าเชื้อในดินได้ แต่ยังไม่ปรากฏของผลการประยุกต์ใช้กับวัสดุปลูกพืช อีกทั้งการศึกษาส่วนใหญ่มุ่งเน้นการใช้ตัวเก็บรังสีแบบรางพาราโบลิก ซึ่งไม่มีขายตามท้องตลาดทั่วไปต่างจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำการผลิตน้ำร้อนโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ประกอบด้วยการทดสอบหาสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่นำมาผลิตน้ำร้อน พร้อมทั้งออกแบบชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อนำมาใช้ฆ่าเชื้อในวัสดุปลูก และหาอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เหมาะสมสำหรับฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกที่ได้ทำการออกแบบ ซึ่งคาดว่าจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกหรือดินในวงกว้างต่อไป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การประเมินสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ความร้อนที่ได้รับจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในทางทฤษฎี สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) ดังนี้ [8]

$$Q_{col} = A_c [F_R(\alpha) I_T - F_R U_L (T_p - T_a)] = \dot{m} C_p (T_p - T_a) \quad (1)$$

ค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีจะเป็นดัชนีที่ใช้ออกความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์ที่กระทบแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งค่าประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$\eta_{col} = \frac{Q_{col}}{Q_m} = \frac{Q_{col}}{Q_m} \quad (2)$$

เมื่อแทนสมการที่ (1) แทนใน สมการที่ (2) จะได้สมการที่ (3) ดังนี้

$$\eta_{col} = \frac{A_c [F_R(\alpha) I_T - F_R U_L (T_p - T_a)]}{A_c I_T} \quad (3)$$

จากนั้นเมื่อนำความสัมพันธ์สมการที่ (3) มาพล็อตกราฟกับ $(T_s - T_f/h)$ จะได้สมการเส้นตรงโดยมีค่าความชันของกราฟเท่ากับ $-F_s U_L$ แสดงค่าการสูญเสียความร้อน ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีการป้องกันการสูญเสียความร้อนได้ไม่ดีพอ และจุดตัดบนแกนประสิทธิ์ภาพคือค่า $F_s(\alpha)$ ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าการส่งผ่านค่าดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของตัวเก็บรังสีมีค่าสูง

2.2 การประเมินระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

พิจารณากรณีไม่มีการนำน้ำร้อนไปใช้งานและไม่มีการสูญเสียความร้อนจากถัง (ถังหุ้มฉนวนอย่างดี) [8]

$$A_c [F_s(\alpha) I_T - F_s U_L (T_s - T_a)] = (MC_p)_s \frac{(T_s^{n+1} - T_i)}{\Delta t} \quad (4)$$

สมรรถนะของระบบทำน้ำร้อน สามารถคำนวณได้จากอุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนที่เพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงเวลา ดังนั้นถ้าปริมาณความร้อนในแต่ละช่วงเวลาที่ตั้งเก็บน้ำร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$Q_s = \sum_{i=1}^n (MC_p)_s \frac{dT_i}{dt} = (MC_p)_s \left(\frac{T_s^{n+1} - T_i}{\Delta t} \right) \quad (5)$$

2.3 การนำความร้อน

ความสามารถในการนำความร้อนของสาร วัดด้วยปริมาณที่เรียกว่า ค่าสภาพการนำความร้อน (Thermal conductivity, k) หรือใช้ตัวอักษรย่อว่า k มีหน่วยเป็น วัตต์/เมตร-เคลวิน ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางกายภาพของตัวกลางที่มีความร้อนเคลื่อนผ่านสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (6) ดังนี้ [9]

$$q_s = kA \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (6)$$

หรือจัดรูปใหม่ จะได้

$$k = q_s \frac{L}{A(T_1 - T_2)} \quad (7)$$

ค่าการนำความร้อน เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของวัสดุ โดยทั่วไปแล้วค่าการนำความร้อนของวัสดุจะแปรผันตามอุณหภูมิ แต่การนำไปใช้งานในด้านปฏิบัติส่วนใหญ่แล้วจะใช้ค่าการนำความร้อนคงที่ซึ่งหาได้จากอุณหภูมิเฉลี่ย สามารถเปรียบเทียบความสามารถในการนำความร้อนของสารต่างๆ โดยการเปรียบเทียบจากค่า k ของสารเหล่านั้น โดยสารที่มีค่า k สูงจะเรียกว่า สารตัวนำ (Conductor) และสารที่มีค่า k ต่ำจะเรียกว่า ฉนวน (Insulator)

โดยในการทดสอบอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุปลูกจะใช้แหล่งความร้อนจากอุปกรณ์ทำความร้อน (Heater) ซึ่งหาได้จากผลคูณของแรงดันไฟฟ้าสกร่อมอุปกรณ์ทำความร้อน (V) และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอุปกรณ์ทำความร้อน (A) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (8) ดังนี้

$$Q = EI \quad (8)$$

2.4 การพาความร้อนถูกบังคับสำหรับการไหลในท่อ

การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนของการไหลในท่อกรณีอุณหภูมิมีพหุคูณค่าคงที่ อุณหภูมิของของไหลตรงทางออกท่อ (Mean fluid temperature at the tube exit, $T_{m,e}$) ในรูปแบบของเอ็กซ์โพเนนเชียล ถูกนำมาใช้ในการออกแบบพาความร้อนของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนในระบบแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อนำน้ำร้อนไปฆ่าเชื้อในวัสดุปลูก สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (9) [9]

$$T_{m,e} = T_s - (T_s - T_{m,i}) \exp\left(-\frac{\pi D L U_o h}{m C_p}\right) \quad (9)$$

โดยที่สัมประสิทธิ์การพาความร้อนในท่อหาจากเลขนิตเซนต์ได้จากสมการที่ (10)

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (10)$$

หรือจัดรูปใหม่ จะได้

$$h = \frac{k \cdot Nu}{D} \quad (11)$$

โดยเลขนิตเซนต์ของการไหลปั่นป่วนในท่อ สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (12)$$

สมการที่ (12) แทนในสมการที่ (11) จะได้สมการที่ (13)

$$h = \frac{k \cdot 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4}}{D} \quad (13)$$

3. วิธีการศึกษา

3.1 การศึกษาค่าการนำความร้อนของวัสดุปลูก

ในการทดสอบหาสภาพการนำความร้อนของวัสดุปลูกได้ออกแบบวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C177 ในชุดทดสอบ Hot plate ที่ทำจากเหล็กกล่องมีความกว้าง 30 cm ยาว 30 cm มีแผ่น Hot plate ที่ทำจากเหล็กหนา 0.4 cm ชุดทดสอบจะทำการบดอนุภาคน้ำหนัก 2 cm และด้านข้างกล่องชุดทดสอบบดอนุภาคน้ำหนัก 3 cm แสดงดังรูปที่ 1



(ก) วัสดุปลูก (ข) ชุดทดสอบ Hot plate
รูปที่ 1 การทดสอบหาค่าการนำความร้อนของวัสดุปลูก

กำหนดให้ความหนาของวัสดุปลูกเท่ากับ 2.5 cm โดยวัสดุปลูกที่นำมาทดสอบมีความชื้น 15.73 % น้ำหนัก 1.5 kg มีความหนาแน่นของวัสดุปลูกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 666.67 kg/m³ ในการทดสอบจะใช้ชุดลดความร้อนมีขนาด 400 W สามารถปรับกระแสไฟฟ้าโดยใช้ Dimmer switch ทำการเก็บข้อมูลวัดอุณหภูมิทั้งสองด้านของวัสดุปลูก บันทึกอุณหภูมิทุกๆ 2 นาที โดยใช้ Temperature data logger (Model: Luftron

TM 1947SD, Accuracy ±0.4%) แล้วนำไปคำนวณหาค่าการนำความร้อนของวัสดุปลูกจากสมการที่ (7)

3.2 การศึกษาสมรรถนะตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat-plate collector)

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่นำมาทดสอบมีพื้นที่รับรังสีอาทิตย์เท่ากับ 2.4 m² แสดงดังรูปที่ 2 (ก) ซึ่งก่อนนำไปใช้ผลิตน้ำร้อนเพื่อนำไปใช้ทดสอบกับการฆ่าเชื้อในวัสดุปลูก ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบหาค่าสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ตามมาตรฐาน ASHRAE STANDARD 93-2003



(ก) ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ขนาด 2.4 m²



(ข) จุดวัดอุณหภูมิน้ำเข้าแมง (ค) จุดวัดอุณหภูมิน้ำออกแมง รูปที่ 2 การทดสอบหาประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ในการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์หันหน้าไปทางทิศใต้ เอียงทำมุม 18° กับระนาบ กำหนดให้ค่ารังสีอาทิตย์ในช่วงทดสอบต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 790 W/m² และอยู่ในช่วงเวลา Solar noon (11:00-13:00 น.) ควบคุมความเร็วลมผ่านหน้าแมงโดยตั้งพัดลมเป่าหน้าแมงตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในอัตราความเร็วเฉลี่ย 2.2-4.5 m/s โดยใช้ เครื่องวัดความเร็วลม (Model: Lutron AH 4223, Accuracy 2%±0.2 m/s) จากนั้นทำการบิอนน้ำร้อนเข้าแมงเก็บรังสีอาทิตย์ กำหนดอุณหภูมิน้ำร้อนตั้งแต่ 35-65 °C และกำหนดอัตราการไหลของน้ำในระบบเท่ากับ 2.4 liter/min ระบบต้องเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state condition) แล้วทำการเก็บบันทึกข้อมูลตำแหน่งจุดวัดต่างๆ ในระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ทุกๆ 2 นาที ได้แก่ อุณหภูมิน้ำเข้าแมง (T_e) แสดงดังรูปที่ 2 (ข) อุณหภูมิน้ำออกแมง (T_o) แสดงดังรูปที่ 2 (ค) และอุณหภูมิแวดล้อม (T_{amb}) โดยใช้ Temperature data logger (Model: Lutron TM 1947SD, Accuracy ±0.4%) และวัดค่ารังสีอาทิตย์ โดยใช้ Solar Power Meter (Model: TES 133R) จากนั้นนำข้อมูลมาหาความสัมพันธ์ระหว่าง η_{coll} และ (T_s - T_a)/I_t เป็นสมการเส้นตรงโดยมีค่าความชันของเส้นกราฟเท่ากับ -F_rU_L และค่าตัดบนแกนประสิทธิภาพคือค่า F_r(α)_e และนำไป

ศึกษาหาค่าอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้ โดยทดสอบระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเริ่มต้นทดสอบระบบตั้งแต่เวลา 10:00-16:00 น. ทำการบิอนที่อุณหภูมิน้ำเข้าแมงรับรังสีอาทิตย์ (T_e) ,อุณหภูมิน้ำออกแมงรับรังสีอาทิตย์ (T_o) ,อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน (T_t) ,อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (T_{amb}) และค่ารังสีอาทิตย์ (I_t) ทุกๆ 5 นาที โดยใช้ Temperature data logger (Model: Lutron TM 1947SD, Accuracy ±0.4%) แล้วนำค่าอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนที่ได้จากการทดลองจริงมาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนที่เพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงเวลาซึ่งคำนวณจากสมการที่ (5) เพื่อได้ทราบค่า F_r(α)_e และ -F_rU_L ที่ได้จากการทดสอบสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์นั้นจะส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำร้อนจากการทดลองจริงกับอุณหภูมิน้ำร้อนที่เพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงเวลาที่ได้จากการคำนวณมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันหรือไม่อย่างไร

3.3 การออกแบบชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

ในการออกแบบความยาวท่อของชุดแลกเปลี่ยนความร้อน ได้ทำการเลือกขนาดท่อแดง 3/8 นิ้ว มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกและภายในเท่ากับ 10 mm และ 9.5 mm ตามลำดับ หลังจากนั้นทำการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในท่อของน้ำร้อน จากสมการที่ (13) โดยกำหนดอุณหภูมิน้ำร้อนเข้าท่อแดงที่ 55 °C อุณหภูมิน้ำร้อนออกท่อแดงที่ 30.5 °C และน้ำร้อนในท่อไหลที่อัตราการไหล 0.04 kg/s และคำนวณหาความยาวของท่อแดงจากสมการที่ (9) ซึ่งพบว่าท่อแดงต้องมีความยาว 9.6 m และได้ออกแบบโดยวางท่อขนานกันทั้งหมด 12 ท่อ ระยะห่างระหว่างท่อเท่ากับ 6.30 cm ได้ขนาดกะาะสำหรับระบบฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกที่มีขนาดกว้าง 35.5 cm ยาว 80 cm และสูง 30 cm แสดงดังรูปที่ 3

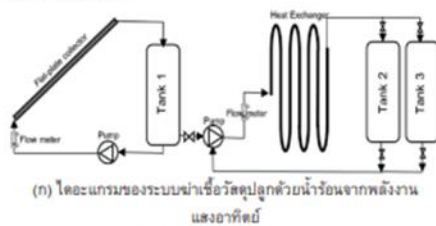


รูปที่ 3 ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับการฆ่าเชื้อในวัสดุปลูก

3.4 การทดสอบหาอัตราการไหลของน้ำที่เหมาะสมของชุดแลกเปลี่ยนความร้อน

หลังจากออกแบบชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบหาอัตราการไหลที่เหมาะสมของชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อนำไปใช้ในการฆ่าเชื้อวัสดุปลูกด้วยน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 4 (ก) ประกอบด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และถังเก็บน้ำร้อนจำนวน 3 ถัง โดยถังที่ 1 เป็นถังเก็บน้ำร้อนที่ผลิตน้ำร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และถังที่ 2 และถังที่ 3 เป็นถังน้ำร้อนที่ใช้ในการอบวัสดุปลูก ซึ่งหลังจากทำน้ำร้อนได้ตามต้องการแล้ว ในขั้นตอนการอบวัสดุปลูกจะปล่อยน้ำร้อนจากถังที่ 1 ผ่านเข้าสู่ชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจนหมดถึง โดยน้ำร้อนที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกส่งมาเก็บสะสมถึงถังที่ 2 หลังจากนั้น

ดังนี้ 2 จะทำการปล่อยน้ำเข้าสู่ชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนอีกครั้งจนหมดถัง และน้ำร้อนที่ไหลออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกส่งมาเก็บสะสมยังถังที่ 3 หลังจากนั้นถังที่ 3 ก็จะปล่อยน้ำร้อนผ่านเข้าสู่ชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนอีกครั้งจนหมด และน้ำร้อนที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกส่งไปเก็บสะสมยังถังที่ 2 เช่นเดิม ในการทดสอบจะทำการผลิตน้ำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงเวลากลางวัน ตั้งแต่เวลา 8:00-16:00 น. และหลังจากนั้นจะทำการทดสอบชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ตั้งแต่เวลา 17:00-23:00 น. สำหรับวัสดุปลูกจะบรรจุลงกระบะทดสอบจนเต็มกระบะจะมีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ที่ 50 kg แสดงดังรูปที่ 4 (ข) และความชื้นของวัสดุปลูกมีค่า 15.1-15.9 % ซึ่งทำการวัดโดยใช้ Soil moisture meter IP65 (Model: Lutron PMS-714)

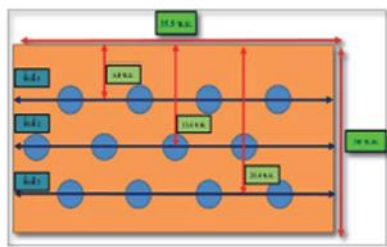


(ก) โฉมถาวรของระบบนำเชื้อวัสดุปลูกด้วยน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์

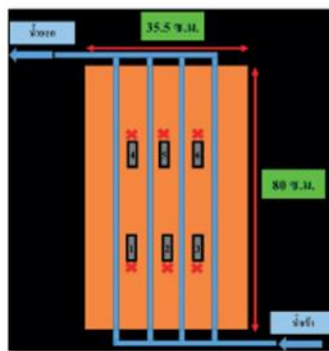


(ข) วัสดุปลูกที่ใช้ในการทดสอบ

รูปที่ 4 การทดสอบหาอัตราการไหลของน้ำที่เหมาะสมของชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน



(ก) ตำแหน่งด้าน Side view ของการวัดอุณหภูมิ



(ข) ตำแหน่งด้าน Top view ของการวัดอุณหภูมิ

รูปที่ 5 การวัดอุณหภูมิวัสดุปลูกที่ระดับความลึกต่างๆ

หลังจากใส่วัสดุปลูกลงในกระบะเต็มแล้วจึงได้ทำการปล่อยน้ำร้อนที่ได้จากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยอยู่ที่ 70 °C เข้าสู่ชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในกระบะทดสอบ และจะทดสอบที่เงื่อนไขอัตราการไหลทั้งหมด 4 ค่า ได้แก่ 1.5 , 2 , 2.5 และ 3 Liter/min ตามลำดับ ทำการบันทึกอุณหภูมิวัสดุปลูกที่ทำการทดสอบที่ระดับความลึก 3 ระดับ ได้แก่ ที่ความลึก 6.8 cm 13.6 cm และ 20.4 cm ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 5 (ก) ซึ่งในแต่ละระดับความลึกจะทำการติดตั้งสายวัดอุณหภูมิ Thermocouple type k เพื่อบันทึกอุณหภูมิ โดยจะทำการบันทึกอุณหภูมิทั้งหมด 6 ตำแหน่ง โดยจุดวัดอุณหภูมิตำแหน่งที่ 1-3 และ 4-6 จะติดตั้งห่างจากขอบของกระบะทดสอบตามความกว้างของกระบะที่ 20 cm และจุดวัดอุณหภูมิตำแหน่งที่ 1-3 จะอยู่ห่างจากจุดวัดอุณหภูมิตำแหน่งที่ 4-6 เท่ากับ 40 cm แสดงดังรูปที่ 5 (ข) ทำการบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 นาที ตั้งแต่เวลา 17:00-23:00 น. จากนั้นนำค่าอุณหภูมิวัสดุปลูกที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงเวลามาเปรียบเทียบกับโน้ตค่าอัตราการไหล เพื่อหาอัตราการไหลที่สามารถถ่ายเทความร้อนให้แก่วัสดุปลูกเพื่อให้ได้อุณหภูมิที่ดีที่สุด โดยต้องการให้อุณหภูมิของวัสดุปลูกมีอุณหภูมิที่มากกว่าหรือเท่ากับ 45 °C ซึ่งจะสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ *Rastonia Solanacearum* ได้ [7]

4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบหาค่าการนำความร้อนของวัสดุปลูก

ผลการทดสอบหาค่าการนำความร้อนของวัสดุปลูกแสดงดังตารางที่ 1 โดยได้แสดงค่าอุณหภูมิวัสดุปลูกเฉลี่ยฝั่ง Hot plate (T_h) และอุณหภูมิวัสดุปลูกเฉลี่ยฝั่ง Ambient (T_a) โดยในการทดสอบทั้ง 3 ตัวอย่างทดสอบที่อุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย 21-22 °C

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบค่าการนำความร้อนของวัสดุปลูก

| วัสดุปลูก ตัวอย่าง | อุณหภูมิฝั่ง Hot plate (°C) | อุณหภูมิ ฝั่ง Ambient (°C) | ผลต่าง อุณหภูมิ ฝั่ง Hotplate และ Ambient (°C) | ค่าการนำ ความร้อน (W/m·K) |
|-----------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|--|---------------------------------|
| 1 | 94.04 | 39.74 | 54.29 | 0.56 |
| 2 | 96.59 | 42.14 | 54.45 | 0.60 |
| 3 | 97.35 | 39.75 | 57.60 | 0.53 |
| เฉลี่ย | 95.99 | 40.54 | 55.45 | 0.56 |

จากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยฝั่ง Hot plate ของวัสดุปลูกทั้ง 3 ตัวอย่างเมื่อเข้าสู่สภาวะ Steady state มีค่าเท่ากับ 95.99 °C เมื่อพิจารณาอุณหภูมิเฉลี่ยฝั่ง Ambient ของวัสดุปลูกทั้ง 3 ตัวอย่างเมื่อเข้าสู่สภาวะ Steady state มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 40.54 °C เมื่อนำอุณหภูมิเฉลี่ยทั้ง 2 ฝั่งมาคำนวณผลต่างอุณหภูมิ พบว่าผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยของวัสดุปลูกทั้ง 3 ตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 55.45 °C และเมื่อวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยค่าการนำความร้อนของวัสดุปลูกพบว่า มีค่าเท่ากับ 0.56 W/m·K จากการสังเกตพบว่า วัสดุปลูกมีค่าการนำความร้อนที่ค่อนข้างต่ำ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวนค่อนข้างสูง ดังนั้นหากต้องการเพิ่มอุณหภูมิวัสดุปลูกให้มีค่าที่สูงพอที่จะทำการฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกจะต้องอาศัยปัจจัยอื่นๆ นอกเหนือจากการนำความร้อนเพียงอย่างเดียวมาพิจารณาด้วย เช่นการเพิ่มความชื้นในวัสดุปลูกที่มีผลต่อการนำความร้อนในวัสดุปลูก เป็นต้น

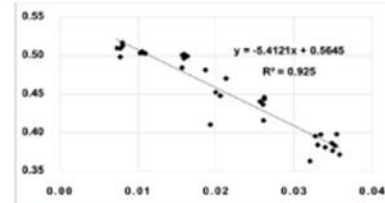
4.2 ผลการทดสอบสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

การทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบตามมาตรฐาน ASHRAE STANDARD 93-2003 สามารถสรุปผลการทดสอบโดยแสดงเป็นค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิน้ำที่ไหลเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิน้ำที่ไหลออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม และค่าความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ศึกษาในงานวิจัย

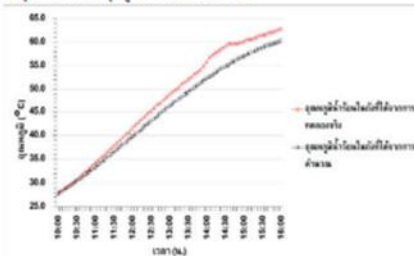
| T_s (°C) | I_t (W/m ²) | T_{in} (°C) | T_{out} (°C) | T_a (°C) | Q_{col} (W) | $(T_s T_a) / I_t$ | η_{col} |
|---------------|------------------------------|------------------|-------------------|---------------|------------------|-------------------|--------------|
| 35 | 899.6 | 37.8 | 43.3 | 30.8 | 1,100.3 | 0.01 | 0.51 |
| 40 | 913.6 | 41.4 | 46.9 | 31.7 | 1105.3 | 0.01 | 0.50 |
| 45 | 935.6 | 46.9 | 52.4 | 32.0 | 1115.4 | 0.02 | 0.50 |
| 50 | 915.7 | 51.3 | 56.2 | 33.0 | 994.8 | 0.02 | 0.45 |
| 55 | 887.1 | 56.4 | 61.0 | 33.3 | 929.5 | 0.03 | 0.44 |
| 60 | 822.4 | 61.1 | 64.9 | 34.0 | 758.6 | 0.03 | 0.38 |
| 65 | 928.5 | 66.4 | 70.7 | 33.7 | 854.1 | 0.04 | 0.38 |

เมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่าง η_{col} ที่ได้จากการศึกษาและ $(T_{in} - T_{amb}) / I_t$ มาสร้างสมการเชิงถดถอยจะได้สมการเส้นตรงที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.925 และได้ค่า $F_R(\tau\alpha)_c$ ซึ่งเป็นจุดตัดบนแกน Y มีค่าเท่ากับ 0.5645 และ $-F_R U_L$ ซึ่งเป็นค่าการสูญเสียความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ มีค่าเท่ากับ 5.4121 W/m²·K แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า η_{col} และ $(T_{in} - T_{amb}) / I_t$

สำหรับผลการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนที่ได้จากการทดลองจริงกับอุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนที่ได้จากการคำนวณจากสมการที่ (5) ในแต่ละช่วงเวลา แสดงดังรูปที่ 7 พบว่าอุณหภูมิของน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนที่ได้จากการทดลองจริงมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับอุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนที่ได้จากการคำนวณ โดยอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนที่ได้จากการทดลองจริงมีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 62.94 °C และอุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนที่เพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงเวลาที่ได้จากการคำนวณมีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 60.24 °C และจากการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน (Error) ของข้อมูลพบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.69% ทำให้สามารถสรุปได้ว่าค่า $F_R(\tau\alpha)_c$ และ $-F_R U_L$ ที่ได้จากการศึกษาสามารถนำมาใช้คำนวณในสมการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์เพื่อผลิตน้ำร้อนสำหรับระบบฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในวัสดุปลูกพืชในงานวิจัยนี้ได้



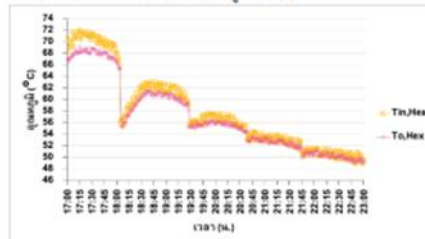
รูปที่ 7 การเปรียบเทียบอุณหภูมิในถังเก็บน้ำร้อนที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณในแต่ละช่วงเวลา

4.3 ผลการทดสอบหาอัตราการไหลของน้ำที่เหมาะสมของชุดแลกเปลี่ยนความร้อน

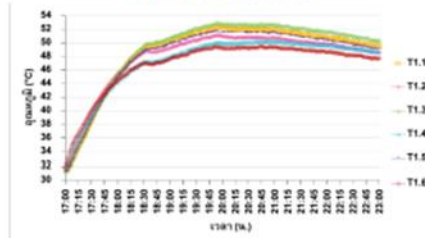
ผลการทดสอบเพื่อหาอัตราการไหลของน้ำร้อนที่ไหลเข้าสู่ชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่กำหนดเงื่อนไขของอัตราการไหลทั้งสิ้น 4 ค่า ได้แก่ 1.5, 2, 2.5 และ 3 Liter/min ตามลำดับ สรุปได้ดังนี้

4.3.1 ผลการทดสอบที่อัตราการไหล 1.5 Liter/min

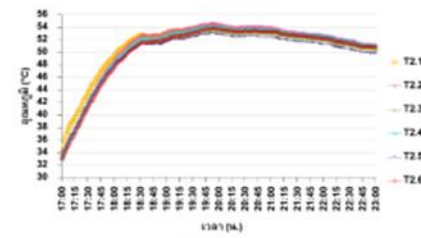
ในการทดสอบอัตราการไหลของน้ำร้อนในชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ 1.5 Liter/min วัสดุปลูกที่นำมาทดสอบมีความชื้นเฉลี่ย 15.5 % สามารถนำน้ำร้อนมาหมุนเวียนเข้าสู่ชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้ทั้งหมด 5 รอบ โดยรอบที่ 1 ช่วงเวลา 17:00-18:04 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 70.19 °C และ 67.83 °C ตามลำดับ รอบที่ 2 ช่วงเวลา 18:04-19:27 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 60.84 °C และ 59.82 °C ตามลำดับ รอบที่ 3 ช่วงเวลา 19:28-20:34 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 56.49 °C และ 55.67 °C ตามลำดับ รอบที่ 4 ช่วงเวลา 20:35-21:42 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 53.25 °C และ 52.82 °C ตามลำดับ และรอบที่ 5 ช่วงเวลา 21:43-23:00 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 50.6 °C และ 50.26 °C ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 8 (ก)



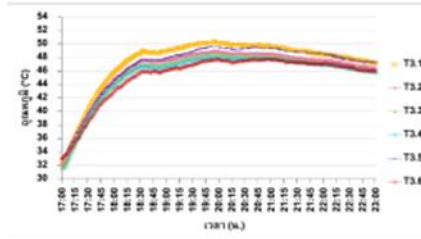
(ก) อุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำออกชุดแลกเปลี่ยนความร้อนที่อัตราการไหล 1.5 Liter/min



(ข) อุณหภูมิวัสดุปลูกที่ระดับความลึก 6.8 cm อัตราการไหล 1.5 Liter/min



(ค) อุณหภูมิวัสดุปลูกที่ระดับความลึก 13.6 cm อัตราการไหล 1.5 Liter/min



(ง) อุณหภูมิวัสดุปลูกที่ระดับความลึก 20.4 cm อัตราการไหล 1.5 Liter/min

รูปที่ 8 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกระเพาะชำเชื้อวัสดุปลูกที่อัตราการไหลของน้ำ 1.5 Liter/min

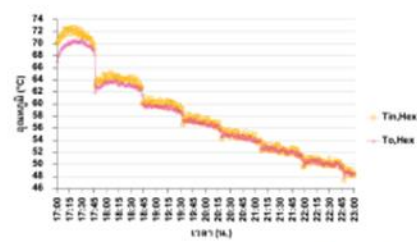
เมื่อทำการพิจารณาอุณหภูมิของวัสดุปลูกในแต่ละชั้นและแต่ละตำแหน่งพบว่า ที่ระดับความลึก 6.8 cm (ชั้นที่ 1) วัสดุปลูกมีอุณหภูมิเฉลี่ยเริ่มต้นที่ 31.58 °C โดยวัสดุปลูกตำแหน่งจุดวัดที่ 3 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 49.2 °C และสูงกว่าตำแหน่งจุดวัดอื่นๆ ตั้งแต่ 0.5-2.4 °C แสดงดังรูปที่ 8 (ข) ที่ระดับความลึก 13.6 cm (ชั้นที่ 2) วัสดุปลูกมีอุณหภูมิเฉลี่ยเริ่มต้นที่ 33.13 °C โดยวัสดุปลูกตำแหน่งจุดวัดที่ 1 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 51.1 °C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าตำแหน่งจุดวัดอื่นๆ 0.1-2.4 °C แสดงดังรูปที่ 8 (ค) และที่ระดับความลึก 20.4 cm (ชั้นที่ 3) วัสดุปลูกมีอุณหภูมิเฉลี่ยเริ่มต้นที่ 32.28 °C โดยวัสดุปลูกตำแหน่งจุดวัดที่ 1 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 47.4 °C และสูงกว่าตำแหน่งจุดวัดอื่นๆ 0.4-2.2 °C แสดงดังรูป 8 (ง)

4.3.2 ผลการทดสอบที่อัตราการไหล 2 Liter/min

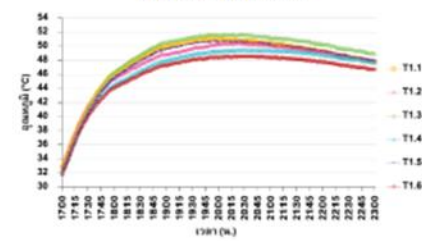
ในการทดสอบอัตราการไหลของน้ำร้อนในชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ 2 Liter/min วัสดุปลูกที่นำมาทดสอบมีความชื้นเฉลี่ย 15.5 % สามารถนำน้ำร้อนมาหมุนเวียนเข้าสู่ชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้ทั้งหมด 7 รอบ โดยรอบที่ 1 ช่วงเวลา 17:00-17:45 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 71.44 °C และ 69.65 °C ตามลำดับ รอบที่ 2 ช่วงเวลา 17:46-18:43 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 63.98 °C และ 63.11 °C ตามลำดับ รอบที่ 3 ช่วงเวลา 18:44-19:31 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่า

เท่ากับ 60.00 °C และ 59.38 °C ตามลำดับ รอบที่ 4 ช่วงเวลา 19:32-20:19 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 57.10 °C และ 56.74 °C ตามลำดับ รอบที่ 5 ช่วงเวลา 20:20-21:07 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 54.67 °C และ 54.40 °C ตามลำดับ รอบที่ 6 ช่วงเวลา 21:08-21:58 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 52.34 °C และ 52.16 °C ตามลำดับ และรอบที่ 7 ช่วงเวลา 21:59-23:00 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 49.95 °C และ 49.80 °C ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 9 (ก)

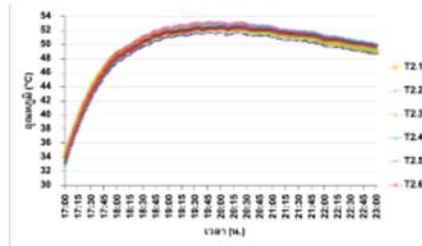
เมื่อทำการพิจารณาอุณหภูมิของวัสดุปลูกในแต่ละชั้นและแต่ละตำแหน่งพบว่า ที่ความลึก 6.8 cm (ชั้นที่ 1) วัสดุปลูกมีอุณหภูมิเฉลี่ยเริ่มต้นที่ 32.2 °C โดยวัสดุปลูกตำแหน่งจุดวัดที่ 3 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 48.7 °C และสูงกว่าตำแหน่งจุดวัดอื่น 0.6-2.6 °C แสดงดังรูปที่ 9 (ข) ที่ระดับความลึก 13.6 cm (ชั้นที่ 2) วัสดุปลูกมีอุณหภูมิเฉลี่ยเริ่มต้นที่ 33.6 °C โดยวัสดุปลูกตำแหน่งจุดวัดที่ 2 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 50.3 °C และสูงกว่าตำแหน่งจุดวัดอื่นๆ 0.4-1.3 °C แสดงดังรูปที่ 9 (ค) และที่ระดับความลึก 20.4 cm (ชั้นที่ 3) วัสดุปลูกมีอุณหภูมิเฉลี่ยเริ่มต้นที่ 31.6 °C โดยวัสดุปลูกตำแหน่งจุดวัดที่ 1 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 46.1 °C และสูงกว่าตำแหน่งจุดวัดอื่นๆ 0.7-3.1 °C แสดงดังรูปที่ 9 (ง)



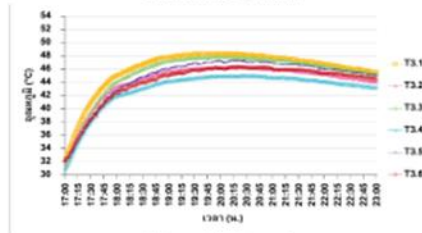
(ก) อุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำออกชุดแลกเปลี่ยนความร้อนที่อัตราการไหล 2 Liter/min



(ข) อุณหภูมิวัสดุปลูกที่ระดับความลึก 6.8 cm อัตราการไหล 2 Liter/min



(ค) อุณหภูมิวัสดุปลูกที่ระดับความลึก 13.6 cm อัตราการไหล 2 Liter/min



(ง) อุณหภูมิวัสดุปลูกที่ระดับความลึก 20.4 cm อัตราการไหล 2 Liter/min

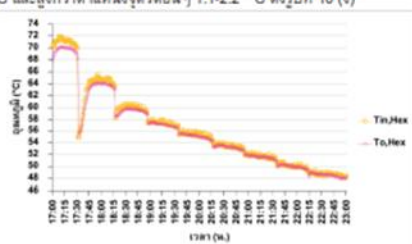
รูปที่ 9 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในระยะเข้าเชื้อวัสดุปลูกที่อัตราการไหลของน้ำ 2 Liter/min

4.3.3 ผลการทดสอบที่อัตราการไหล 2.5 Liter/min

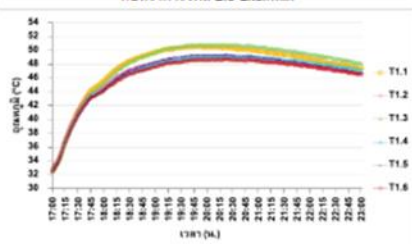
ในการทดสอบอัตราการไหลของน้ำร้อนในชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ 2.5 Liter/min วัสดุปลูกที่นำมาทดสอบมีความชื้นเฉลี่ย 15.3 % สามารถนำน้ำร้อนมาหมุนเวียนเข้าสู่ชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้ทั้งหมด 9 รอบ โดยรอบที่ 1 ช่วงเวลา 17:00-17:31 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 70.52 °C และ 69.59 °C ตามลำดับ รอบที่ 2 ช่วงเวลา 17:32-18:16 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 63.18 °C และ 62.40 °C ตามลำดับ รอบที่ 3 ช่วงเวลา 18:17-18:56 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 59.95 °C และ 59.44 °C ตามลำดับ รอบที่ 4 ช่วงเวลา 18:57-19:34 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 57.40 °C และ 57.09 °C ตามลำดับ รอบที่ 5 ช่วงเวลา 19:35-20:15 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 55.41 °C และ 55.09 °C ตามลำดับ รอบที่ 6 ช่วงเวลา 20:16-20:54 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 53.49 °C และ 53.25 °C ตามลำดับ รอบที่ 7 ช่วงเวลา 20:55-21:35 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 51.70 °C และ 51.59 °C ตามลำดับ รอบที่ 8 ช่วงเวลาที่ 21:36-22:15 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิ

น้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 50.04 °C และ 49.88 °C ตามลำดับ และรอบที่ 9 ช่วงเวลาที่ 22:16-23:00 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 48.70 °C และ 48.47 °C ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 10 (ก)

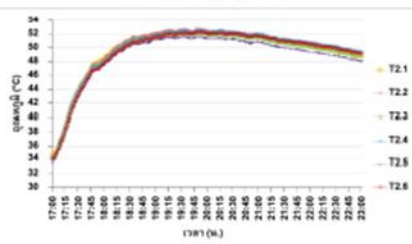
เมื่อพิจารณาอุณหภูมิของวัสดุปลูกในแต่ละชั้นแต่ละตำแหน่งพบว่า ที่ระดับความลึก 6.8 cm (ชั้นที่ 1) วัสดุปลูกมีอุณหภูมิเฉลี่ยเริ่มต้นที่ 32.6 °C โดยวัสดุปลูกตำแหน่งที่ 3 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 48 °C และสูงกว่าตำแหน่งจุดวัดอื่นๆ 0.3-1.7 °C แสดงดังรูปที่ 10 (ข) ที่ระดับความลึก 13.6 cm (ชั้นที่ 2) วัสดุปลูกมีอุณหภูมิเฉลี่ยเริ่มต้นที่ 34 °C โดยวัสดุปลูกตำแหน่งจุดวัดที่ 2 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 49.8 °C และสูงกว่าตำแหน่งจุดวัดอื่นๆ 0.1-1 °C แสดงดังรูปที่ 10 (ค) และที่ระดับความลึก 20.4 cm (ชั้นที่ 3) วัสดุปลูกมีอุณหภูมิเฉลี่ยเริ่มต้นที่ 33 °C โดยวัสดุปลูกตำแหน่งจุดวัดที่ 5 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 46.2 °C และสูงกว่าตำแหน่งจุดวัดอื่นๆ 1.1-2.2 °C ดังรูปที่ 10 (ง)



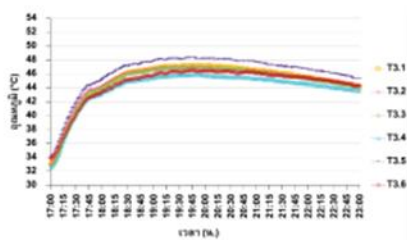
(ก) อุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำออกชุดแลกเปลี่ยนความร้อนที่อัตราการไหล 2.5 Liter/min



(ข) อุณหภูมิวัสดุปลูกที่ระดับความลึก 6.8 cm อัตราการไหล 2.5 Liter/min



(ค) อุณหภูมิวัสดุปลูกที่ระดับความลึก 13.6 cm อัตราการไหล 2.5 Liter/min



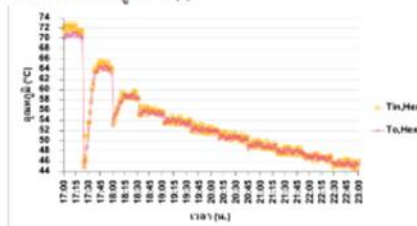
(ง) อุณหภูมิวัสดุปลูกที่ระดับความลึก 20.4 cm อัตราการไหล 2.5 Liter/min

รูปที่ 10 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในระบบน้ำเชื่อมวัสดุปลูกที่อัตราการไหลของน้ำ 2.5 Liter/min

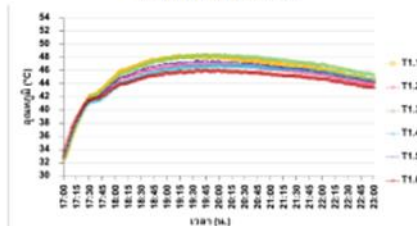
4.3.4 ผลการทดสอบที่อัตราการไหล 3 Liter/min

ในการทดสอบอัตราการไหลของน้ำร้อนในชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ 3 liter/min วัสดุปลูกที่นำมามีความชื้นเฉลี่ย 15.3 % สามารถนำน้ำร้อนมาหมุนเวียนเข้าสู่ชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้ทั้งหมด 11 รอบ โดยรอบที่ 1 ช่วงเวลา 17:00-17:22 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 71.90 °C และ 70.58 °C ตามลำดับ รอบที่ 2 ช่วงเวลา 17:23-17:59 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 60.65 °C และ 60.16 °C ตามลำดับ รอบที่ 3 ช่วงเวลา 18:00-18:29 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 57.79 °C และ 57.60 °C ตามลำดับ รอบที่ 4 ช่วงเวลา 18:30-19:05 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 55.78 °C และ 55.49 °C ตามลำดับ รอบที่ 5 ช่วงเวลา 19:06-19:40 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 53.63 °C และ 53.50 °C ตามลำดับ รอบที่ 6 ช่วงเวลา 19:41-20:11 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 52.11 °C และ 51.98 °C ตามลำดับ รอบที่ 7 ช่วงเวลา 20:12-20:45 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 50.75 °C และ 50.51 °C ตามลำดับ รอบที่ 8 ช่วงเวลา 20:26-21:20 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 49.14 °C และ 49.03 °C ตามลำดับ รอบที่ 9 ช่วงเวลา 21:21-21:55 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 47.89 °C และ 47.84 °C ตามลำดับ รอบที่ 10 ช่วงเวลา 21:56-22:27 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 46.79 °C และ 46.68 °C ตามลำดับ และรอบที่ 11 ช่วงเวลา 22:28-23:00 น. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 45.19 °C และ 45.47 °C ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 11 (ก)

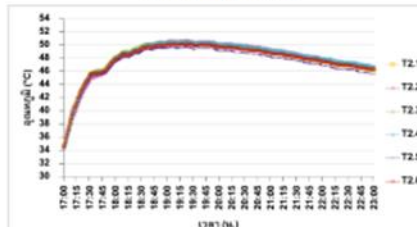
เมื่อทำการพิจารณาอุณหภูมิของวัสดุปลูกในแต่ละชั้นและแต่ละตำแหน่งพบว่า ที่ความลึก 6.8 cm (ชั้นที่ 1) วัสดุปลูกมีอุณหภูมิเฉลี่ยเริ่มต้นที่ 32.9 °C โดยวัสดุปลูกตำแหน่งจุดวัดที่ 1 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 46.2 °C และสูงกว่าตำแหน่งจุดวัดอื่นๆ 0.4-1.9 °C แสดงดังรูปที่ 11 (ข) ที่ระดับความลึก 13.6 cm (ชั้นที่ 2) วัสดุปลูกมีอุณหภูมิเฉลี่ยเริ่มต้นที่ 34.7 °C โดยวัสดุปลูกตำแหน่งจุดวัดที่ 2 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 49.1 °C และสูงกว่าตำแหน่งจุดวัดอื่นๆ 1-1.8 °C แสดงดังรูปที่ 11 (ค) และที่ระดับความลึก 20.4 cm (ชั้นที่ 3) วัสดุปลูกมีอุณหภูมิเฉลี่ยเริ่มต้นที่ 32.9 °C โดยวัสดุปลูกตำแหน่งจุดวัดที่ 5 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 44.2 °C และสูงกว่าตำแหน่งจุดวัดอื่นๆ 0.1-2.5 °C แสดงดังรูปที่ 11 (ง)



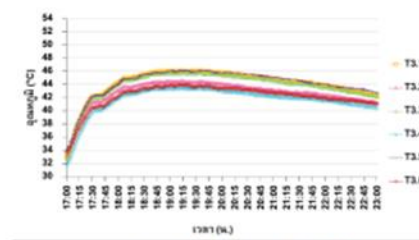
(ก) อุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิในออกชุดแลกเปลี่ยนความร้อนที่อัตราการไหล 3 Liter/min



(ข) อุณหภูมิวัสดุปลูกที่ระดับความลึก 6.8 cm อัตราการไหล 3 Liter/min



(ค) อุณหภูมิวัสดุปลูกที่ระดับความลึก 13.6 cm อัตราการไหล 3 Liter/min



(ง) อุณหภูมิวัสดุปลูกที่ระดับความลึก 20.4 cm อัตราการไหล 3 Liter/min

รูปที่ 11 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในระยะจำเขือวัสดุปลูกที่อัตราการไหลของน้ำ 3 Liter/min

4.3.5 ผลการวิเคราะห์อัตราการไหลที่เหมาะสมที่สุด

เมื่อพิจารณาเวลาของการอบวัสดุปลูกโดยใช้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของวัสดุปลูกในแต่ละตำแหน่งและในแต่ละระดับความลึกมาเปรียบเทียบกับพบว่า ที่ระดับความลึก 6.8 cm (ชั้นที่ 1) อัตราการไหล 1.5 Liter/min สามารถถ่ายเทความร้อนส่งผลให้วัสดุปลูกมีอุณหภูมิที่ค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 45 °C ได้เวลาที่นานกว่าอัตราการไหลของน้ำที่ 2.5, 2 และ 3 Liter/min ตามลำดับ โดยแต่ละอัตราการไหลสามารถทำเวลาเพื่อให้วัสดุปลูกมีอุณหภูมิที่ค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 45 °C ได้ที่ 4 ชั่วโมง 53 นาที, 4 ชั่วโมง 50 นาที, 4 ชั่วโมง 44 นาที และ 2 ชั่วโมง 43 นาที ตามลำดับ

ที่ระดับความลึก 13.6 cm (ชั้นที่ 2) อัตราการไหล 3 Liter/min สามารถถ่ายเทความร้อนส่งผลให้วัสดุปลูกมีอุณหภูมิที่ค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 45 °C ได้เวลาที่นานกว่า อัตราการไหล 2.5, 2 และ 1.5 Liter/min ตามลำดับ โดยใช้เวลา 5 ชั่วโมง 28 นาที, 5 ชั่วโมง 21 นาที, 5 ชั่วโมง 17 นาที และ 5 ชั่วโมง 14 นาที ตามลำดับ

ที่ระดับความลึก 20.4 cm (ชั้นที่ 3) อัตราการไหล 1.5 Liter/min สามารถถ่ายเทความร้อนส่งผลให้วัสดุปลูกมีอุณหภูมิที่ค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 45 °C ได้เวลาที่นานกว่าอัตราการไหล 2.5, 2 และ 3 Liter/min ตามลำดับ โดยแต่ละอัตราการไหลสามารถทำเวลาได้ที่ 4 ชั่วโมง 39 นาที, 3 ชั่วโมง 12 นาที, 2 ชั่วโมง 58 นาที และที่อัตราการไหลที่ 3 Liter/min ไม่สามารถถ่ายเทความร้อนให้แก่วัสดุปลูกให้มีอุณหภูมิที่ค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 45 °C

สำหรับการเปรียบเทียบอุณหภูมิวัสดุปลูกในแต่ละระดับชั้นเพื่อพิจารณาค่าอุณหภูมิวัสดุปลูกที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดพบว่า ที่ระดับความลึก 13.6 cm (ชั้นที่ 2) จะมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่สูงที่สุด เนื่องจากเป็นจุดด้านในสุดของกระบอกที่ใช้ในการอบวัสดุปลูก และหุ้มด้วยฉนวนอย่างหนาสำหรับที่ระดับความลึก 6.8 cm (ชั้นที่ 1) เมื่อมีการถ่ายเทความร้อนจะมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดตรงกลางจากระดับความลึก 13.6 cm (ชั้นที่ 2) เนื่องจากเป็นส่วนที่อยู่ด้านบนสุดของกระบอกที่ทำการทดสอบ ถึงแม้ว่าจะมีหุ้มฉนวนไว้อย่างดีแต่บริเวณนี้จะอยู่ด้านบนสุดที่มีส่วนของฝากระบอกสำหรับเปิด-ปิด จึงมีผลให้เกิดการสูญเสียความร้อนในส่วนของขอบฝาของกระบอกทดสอบ และในระดับความลึกที่ 20.4 cm (ชั้นที่ 3) เป็นส่วนที่อยู่ลึกที่สุด เมื่อมีการถ่ายเทความร้อนจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับระดับความลึกที่ 6.8 cm (ชั้นที่ 1) และ 13.6 cm (ชั้นที่ 2) เนื่องจากด้านใต้ของกระบอกที่ได้ทำการทดสอบไม่มีการหุ้มฉนวนกันความ

ร้อนเพราะเป็นส่วนที่มีไว้สำหรับการฝังลวดเพื่อทำการเปลี่ยนวัสดุปลูก หลังจากการอบเสร็จเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ดังนั้นจึงส่งผลให้ที่ระดับความลึกนี้มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำที่สุด และเมื่อพิจารณาของอัตราการไหลของน้ำร้อนร่วมด้วยพบว่า ที่ระดับความลึก 6.8 cm และ 13.6 cm ที่อัตราการไหล 1.5, 2, 2.5 และ 3 Liter/min สามารถถ่ายเทความร้อนให้แก่วัสดุปลูกให้มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 45 °C ได้ในเวลาที่ไม่ถึง 5 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามแม้ว่าที่อัตราการไหล 3 Liter/min จะทำให้ระดับความลึก 13.6 cm สามารถอบวัสดุปลูกได้นาน แต่ที่ความลึก 20.4 cm ไม่สามารถรักษาอุณหภูมิวัสดุปลูกให้มากกว่าหรือเท่ากับ 45 °C ได้ จึงไม่ใช่อัตราการไหลที่เหมาะสม ส่วนอัตราการไหลของน้ำร้อนในค่าอื่นๆ เมื่อพิจารณาอุณหภูมิวัสดุปลูกที่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้และระยะเวลาที่นานที่สุดที่สามารถใช้งานได้พบว่า อัตราการไหลของน้ำร้อนที่ไหลเข้าสู่ชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ 1.5 Liter/min คือค่าที่เหมาะสมที่สุด

ข้อสังเกตอีกประการหนึ่งที่ได้จากการศึกษาพบว่า ซึ่งในช่วงแรกจะมีการถ่ายเทน้ำร้อนจากถังที่ 1 มาถึงถังที่ 2 เพียงครั้งเดียวเท่านั้น หลังจากนั้นจะเป็นการถ่ายเทน้ำร้อนระหว่างถังเก็บน้ำร้อนที่ 2 และถังเก็บน้ำร้อนที่ 3 โดยจะหมุนเวียนสลับเปลี่ยนกันไปจากน้ำร้อนถังหนึ่งไปสู่อีกถังหนึ่ง การทำงานของระบบเช่นนี้ทำให้พบข้อสังเกตว่า อุณหภูมิน้ำร้อนที่ไหลเข้าและอุณหภูมิน้ำร้อนที่ไหลผ่านชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในรอบการทำงานช่วงแรกๆ จะมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นเรื่อยๆ ที่ไม่มีแหล่งความร้อนใดมาทำการถ่ายเทความร้อนให้แก่ถังน้ำ ซึ่งสาเหตุเกิดจากการที่ในชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนก่อนที่จะทำการทดสอบมีน้ำเย็นตกค้างในระบบท่อ ส่งผลให้น้ำร้อนที่ออกจากชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและไหลเข้าสู่ถังเก็บน้ำร้อนมีการแยกชั้นกันระหว่างอุณหภูมิ โดยน้ำร้อนจากข้างล่างจะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าด้านบนถึงในช่วงแรกๆของการทดสอบระบบ และตัวชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนี้ได้ออกแบบโดยการปล่อยน้ำร้อนจากข้างล่างถึงไหลเข้าสู่ชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และเมื่อมีการหมุนเวียนสลับเปลี่ยนน้ำร้อนไปเรื่อยๆ จะพบว่าอุณหภูมิของน้ำจะเริ่มมีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันตลอดทั้งถัง และไม่มีการแยกชั้นระหว่างอุณหภูมิในถังเก็บน้ำร้อน

5. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาออกแบบระบบฆ่าเชื้อวัสดุปลูกพืชด้วยระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบพร้อมทั้งออกแบบชุดแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อนำมาใช้ฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกพบว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบสามารถผลิตน้ำร้อนที่นำไปใช้งานได้ และเมื่อป้อนน้ำร้อนให้กับชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน อัตราการไหลที่สามารถถ่ายเทความร้อนให้แก่วัสดุปลูกได้นานที่สุดและส่งผลให้วัสดุปลูกมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 45 °C ได้ดีที่สุด ซึ่งได้แก่อัตราการไหลที่ 1.5 Liter/min ซึ่งสามารถถ่ายเทความร้อนให้แก่วัสดุปลูกมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 48.24 °C ได้เป็นเวลาเฉลี่ยที่ 4 ชั่วโมง 39 นาที เนื่องจากเป็นอัตราการไหลที่ช้าที่สุดจึงแสดงให้เห็นว่าเมื่อน้ำร้อนซึ่งเป็นสารทำงานในชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ถ้าน้ำร้อนเกิดการเคลื่อนที่ช้าๆ ย่อมมีการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าน้ำร้อนที่เคลื่อนที่ได้เร็ว เพราะมีเวลาที่จะถ่ายเทความร้อนได้นานกว่า

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทำวิจัยขอขอบพระคุณ ท่านอดิพนธ์จากโครงการผลิตและพัฒนาศัลยกรรมบัณฑิตทางพลังงานทดแทนในระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปีการศึกษา 2559 จากวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำตลอดการทำวิจัย และวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการศึกษานานาชาติ

อ้างอิง

- [1] ปัญหาการผลิตและการจัดการ. [สื่อออนไลน์]. เข้าถึงจาก www.agri.wu.ac.th. สืบค้นเมื่อวันที่ 4 ธ.ค. 2562.
- [2] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์. ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย. [สื่อออนไลน์]. เข้าถึงจาก www3.egat.co. สืบค้นเมื่อวันที่ 4 ธ.ค. 2562.
- [3] A. Porras-Soriano and M. L. Soriano. (2009). Use of flat plate solar collectors and parabolic trough concentrators for greenhouse soil disinfection. Spanish Journal of Agricultural Research. Page. 315-321.
- [4] P.Thanathep. (2009). Solar energy system reduces time taken to inhibit microbial growth in soil. Renewable Energy International Journal homepage: www.elsevier.com/locate/renene. Page. 2467-2473.
- [5] บัณฑิต นุสรินยม. (2541). การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการฆ่าเชื้อโรคในดินด้วยพลังงานแสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. หน้า 1-80.
- [6] กุศลเมธ สมัครคำ. (2547). การพัฒนาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำร้อนกับดินเพื่อใช้ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีอุณหภาพ คณะพลังงานและวัสดุ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. หน้า 1-136.
- [7] ชิตชนก แสนศรี. (2554). การผลิตน้ำร้อนด้วยระบบตัวรวมรังสีรูปประกอบพาราโบลาที่มีหลอดแก้วสุญญากาศเป็นตัวรับรังสีอาทิตย์เพื่อใช้ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในดิน. การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 8 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. จังหวัดนครปฐม. หน้า 844-851.
- [8] กิ่งต๋อง มณีเล็ก. (2559). ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบต้นทุนต่ำสำหรับใช้ในบ้านพักอาศัย. การประชุมวิชาการ เรื่อง การถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวล ในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ ครั้งที่ 15. จังหวัดสุราษฎร์ธานี.
- [9] ผ่องศรี ศิวราชักดิ์. (2554). Heat Transfer การถ่ายเทความร้อน. (พิมพ์ครั้งที่ 2). หน้า 135-150.

การศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของระบบฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกที่ใช้น้ำร้อนจากพลังงาน

แสงอาทิตย์

สุทธิพงษ์ แก้วปัญญา และ สุกฤษณา มงคล*

การประชุมวิชาการ และเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ และนานาชาติ ครั้งที่ 12
“Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward 2021”
วันที่ 15 มกราคม พ.ศ.2564 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา กรุงเทพมหานคร





การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัย
ระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 12

*12th International Academic Conference
of Suan Sunandha Rajabhat University
Bangkok Thailand*

*"Global Goals, Local Actions:
Looking Back and Moving Forward
2021"*

15 January 2021

Graduate School

Suan Sunandha Rajabhat University

กลุ่มวิชาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| ความพึงพอใจและอาการไม่พึงประสงค์จากการใช้ตำรับยาเบญจกูลในผู้ป่วยที่มีอาการท้องอืดแน่นท้อง ของโรงพยาบาลการแพทย์แผนไทยฯ สาขาศูนย์ราชการแจ้งวัฒนะ สิริพร คงเกตุ | 775 |
| การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์กำหนดเส้นทางขนย้ายผู้ประสบอุทกภัย และการเลือกที่ตั้งศูนย์พักพิงชั่วคราว สิทธิพร เพชรดี | 784 |
| การศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของระบบฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกที่ใช้น้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ สุทธิพงษ์ แก้วปัญญา | 795 |
| ผลของการได้รับรำข้าวสาคัน้ำมันในขนาดสูงต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมันในตับของหนูทดลอง อัครกร ชัยศรี | 806 |
| พฤติกรรมการใช้จุลเวลาสติกของนิสิตคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ปริยารัตน์ นาคสุวรรณ | 815 |
| ระบบติดตามการเรียนรู้ใช้การตรวจจับใบหน้าและการจดจำใบหน้า โดยใช้หน่วยประมวลผลกราฟิก ช่วยในการประมวลผลบนซีอีเอ็มไอไอซี อภิสิทธิ์ รัตนาครานูรักษ์ | 826 |





การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 12
 "Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward 2021"

การศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของระบบฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกที่ใช้น้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์
 The Thermal Performance Study of Planting Media Sterilization System
 using Solar Hot Water

สุทธิพงษ์ แก้วปัญญา¹ และ สุลักษณ์ มงคล^{1*}

*E-mail: s_mongkon@hotmail.com

¹วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของระบบฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกที่ใช้น้ำร้อนที่ผลิตได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่มีพื้นที่เท่ากับ 2.4m² น้ำร้อนที่ได้บรรจุในถังเก็บน้ำร้อนขนาด 150 Liter ซึ่งภายในถังได้ติดตั้งฮีตเตอร์ขนาด 2.99 kW เพื่อช่วยทำน้ำร้อนให้ได้อุณหภูมิเฉลี่ย 70°C จากนั้นปล่อยน้ำร้อนด้วยอัตราการไหลเท่ากับ 1.5 Liter/min เข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำจากท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm ทั้งหมด 12 ท่อ ติดตั้งอยู่ในกระบะอบวัสดุปลูกที่มีขนาดกว้าง 35.5 cm ยาว 80 cm และสูง 30 cm ทำการศึกษาการอบฆ่าเชื้อวัสดุปลูกที่ระดับความชื้น 4 ค่า ได้แก่ 15, 25, 35 และ 45% ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าความชื้นในวัสดุปลูกมีผลต่อสมรรถนะทางความร้อนของระบบเป็นอย่างมากซึ่งในวัสดุปลูกที่มีระดับความชื้น 45% สามารถอบวัสดุปลูกได้นานที่สุดเท่ากับ 5 ชั่วโมง 26 นาที อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเฉลี่ยเท่ากับ 56.44 W/m²·°C ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 13.57% ทำให้วัสดุปลูกมีอุณหภูมิเฉลี่ยมากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ซึ่งเป็นระดับอุณหภูมิที่สามารถยับยั้งเชื้อ *Rastonia Solanacearum* ในวัสดุปลูกได้

คำสำคัญ สมรรถนะทางความร้อน, วัสดุปลูก, พลังงานแสงอาทิตย์, การฆ่าเชื้อ

Abstract

This research is to study the thermal performance of planting media sterilization by using solar hot water from the flat plate solar collector with an area of 2.4 m². The hot water is contained in a 150 Liter storage tank. In which the tank is equipped with a 2.99 kW immersion heater to help heat water to an average temperature of 70 °C. Hot water with hot water flow rate of 1.5 Liter/minis discharged into the heat exchanger that made from twelve copper tubes which is a diameter of 1 cm installed in the planting bed with a dimensions of 35.5 cm of width, 80 cm of length and 30 cm of height. Four case studies of moisture level are studied such as 15, 25, 35 and 45%, respectively. From the study found that the moisture in the planting media greatly affected the thermal performance of system. At 45% of moisture level could sterilize the planting media for 5 hours and 26 minutes. The heat exchanger obtained an average total heat transfer coefficient of 56.44 W/m²·°C. The heat



การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 12
 "Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward 2021"

transfer efficiency of the heat exchanger was 13.57% and thus the planting media has an average temperature was greater than or equal to 4.5 °C, which inhibited the growth of *Ralstonia Solanacearum* in planting media.

Keywords Thermal Performance, Planting Media, Solar Energy, Sterilization

บทนำ

ประเทศไทยนั้นอุดมสมบูรณ์ไปด้วยทรัพยากรน้ำ และดิน ส่งผลให้สามารถทำการเพาะปลูกพืชผลทางการเกษตรได้อย่างมากมาย และสามารถทำการค้าขายผลผลิตต่างๆได้ทั้งในประเทศ และต่างประเทศ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันเกษตรกรบางส่วนประสบปัญหาดินขาดแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเพาะปลูกและมีการสะสมเชื้อโรคที่เป็นสาเหตุทำให้พืชผลทางการเกษตรเสียหายดังนั้นเกษตรกรบางส่วนจึงได้หันมาทำการปลูกพืชในวัสดุปลูก (Substrate culture) [1]ซึ่งเป็นการปลูกพืชลงในวัสดุที่ไม่ใช่ดินเช่น ขุยมะพร้าว แกลบ ทราวยี่เลื่อย เป็นต้น ซึ่งข้อดีของการเพาะปลูกพืชในวัสดุปลูกนั้นสามารถเพาะปลูกพืชในพื้นที่ที่ดินมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก และยังให้ผลผลิตทางการเกษตรที่มีคุณภาพเนื่องจากเกษตรกรสามารถควบคุมปริมาณน้ำ และธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชได้อย่างเหมาะสม อย่างไรก็ตามวัสดุปลูกอาจมีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์และแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคพืช ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกเพื่อยังการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และแบคทีเรียจากการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ณัฐพงษ์ แกมทับทิม [2]ได้ศึกษาการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Ralstonia Solanacearum* ในดินซึ่งเป็นสาเหตุของโรคเหี่ยวในพืชซึ่งกล่าวว่าจะสามารถเจริญเติบโต และเข้าทำลายพืชได้ดีในอุณหภูมิระหว่าง 30-35°C แต่ไม่สามารถมีชีวิตรอดอยู่ได้ในอุณหภูมิระหว่าง 37-45°C โดยการศึกษาใช้เชื้อ *Ralstonia Solanacearum* จำนวน 4.7×10^7 colony forming unit/g soil ทำการปล่อยน้ำร้อนจากท่อใต้ดินแนวตั้ง 3 รู ซึ่งสามารถกระจายความร้อนไปยังชั้นดินที่ระยะห่าง 5-10 cm ดินมีความลึก 40 cm เมื่อปล่อยน้ำร้อนผ่านไป 240 นาทีผลการนับเชื้อหลังจากการทดลองพบว่า สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตได้ทั้งหมด ศศิวิมล กนกกันตพงษ์ [3] ได้ศึกษาการหาระบบฆ่าเชื้อโรคในดินที่เหมาะสมโดยใช้โซลาร์เซลล์และรางรวมแสงแบบพาราโบลา โดยได้ทำการออกแบบและสร้างตัวรวมรังสีรูปประกอบพาราโบลา (CPC) ที่มีเป่ารับรังสีเป็นท่อแก้วสุญญากาศในการผลิตน้ำร้อน โดยศึกษาประสิทธิภาพ และอุณหภูมิที่ได้จากตัวรวมรังสี และนำน้ำร้อนที่ได้ไปหยดลงบนผิวดินเพื่อยับยั้งเชื้อ *Ralstonia Solanacearum* โดยทำการวัดอุณหภูมิของดินที่ระดับความลึกจากผิวดินถึง 50 cm โดยเริ่มทำการหยดน้ำร้อนเมื่อเวลา 12:00-17:00 น. กำหนดอัตราการหยดน้ำร้อน 240 หยด/นาทีพบว่าอุณหภูมิที่ผิวดินและระดับความลึก 10 cm มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 58.5 และ 46.6°C ตามลำดับ ส่วนอุณหภูมิที่ระดับความลึก 20-50 cm มีอุณหภูมิสูงขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากการถ่ายโอนความร้อนไปไม่ถึงระดับความลึกดังกล่าว เมื่อทดสอบยับยั้งเชื้อพบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ในระยะเวลาอันสั้นและจิสศักดิ์ คงเกียรติขจร [4] ได้ศึกษาการอบดินด้วยแสงอาทิตย์ร่วมกับการใช้ตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตรต่อการเจริญของเชื้อ *Ralstonia Solanacearum* ในดิน พบว่าสามารถเพิ่มอุณหภูมิดินในระยะเวลา 4 ชั่วโมง โดยมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 50°C ที่ผิวดิน และที่ 40°C ที่ระดับความลึกของดินที่ 5 cm ซึ่งมีผลต่อการลดปริมาณเชื้อ *Ralstonia Solanacearum* ในดิน



การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 12
 "Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward 2021"

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นเห็นได้ว่าจะสามารถนำเอาความร้อนจากพลังงานทดแทนโดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ และแบคทีเรียในดินได้ ซึ่งหากนำมาประยุกต์ใช้ในการฆ่าเชื้อวัสดุปลูก มีแนวโน้มว่าจะสามารถสร้างประโยชน์ให้กับเกษตรกรได้ในอนาคตดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำน้ำร้อนที่ได้จากการทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มาทำงานร่วมกับชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อทำการถ่ายโอนความร้อนในวัสดุปลูกและศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของระบบฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกที่ใช้ น้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของการใช้น้ำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีผลต่ออุณหภูมิวัสดุปลูก
2. เพื่อศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม และประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบฆ่าเชื้อวัสดุปลูก

ขอบเขตการวิจัย

1. ระบบฆ่าเชื้อวัสดุปลูกขนาด กว้าง 35.5 cm ยาว 80 cm และสูง 30 cm อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทำจากทองแดงมีความยาว 80cmต่อท่อ จำนวน 12 ท่อ
2. ใช้น้ำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบขนาด 2.4 m² ถึงเก็บน้ำร้อนขนาด 150 Liter และใช้ฮีตเตอร์เป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนเสริม ผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิเฉลี่ย 70°C
3. วัสดุปลูกที่ทำการทดสอบมีความชื้นอยู่ที่ 15,25,35 และ 45% ตามลำดับ
4. ตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของวัสดุปลูก, ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม และประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบฆ่าเชื้อวัสดุปลูก

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัสดุปลูกที่นำมาทดสอบ

วัสดุปลูกที่นำมาทดสอบมีส่วนผสมของ ดินดำ ชี้เถ้าแกลบ แกลบดิน ขุยมะพร้าว มะพร้าวสับ กากลูกเต๋ และปุ๋ยคอก ซึ่งการปรับสภาพความชื้นในวัสดุปลูกจะทำโดยการพ่นละอองน้ำให้ทั่ววัสดุปลูกแล้วทำการคลุกเคล้าวัสดุปลูกให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวทำการตรวจวัดความชื้นวัสดุปลูกโดยใช้ Soil moisture meter IP65 (Model: Lutron PMS-714, Resolution 0.1%, Accuracy ±5%) แสดงดังรูปที่ 1



(ก) การเตรียมวัสดุปลูก(ข) การตรวจวัดความชื้นของวัสดุปลูก

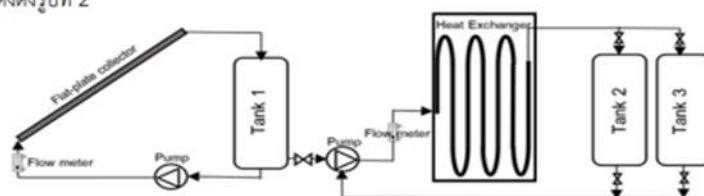
รูปที่ 1 วัสดุปลูกที่นำมาทดสอบ



การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 12
 "Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward 2021"

2. ระบบฆ่าเชื้อวัสดุปลูกที่ใช้น้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกที่ใช้น้ำร้อนพลังงานจากแสงอาทิตย์ประกอบไปด้วย 2 ส่วน ได้แก่ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งประกอบด้วย ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat-plate collector) ขนาด 2.4 m² ถึงเก็บน้ำร้อนจำนวน 1 ถัง (Water tank) ขนาด 150 Liter และฮีตเตอร์ (Heater) ขนาด 2.99 kW ชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีลักษณะเป็นกระบอกทดสอบที่มีขนาดกว้าง 35.5 cm ยาว 80 cm และสูง 30 cm ซึ่งในกระบอกทดสอบจะมีท่อทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1 cm ทั้งหมด 12 ท่อแต่ละท่อมีความยาว 80 cm จัดวางในรูปแบบขนานกัน ระยะห่างระหว่างผิวท่อเท่ากับ 6.3 cm และมีถังเก็บน้ำร้อนจำนวน 2 ถัง ขนาดถังละ 150 Liter ทำหน้าที่ในการพักน้ำร้อนสำหรับหมุนเวียนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแสดงดังรูปที่ 2



(ก) โค้ดแรมระบบฆ่าเชื้อในวัสดุปลูก



(ข) ระบบฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกที่ใช้ในการทดสอบ
 รูปที่ 2 ระบบฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกที่ใช้น้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์

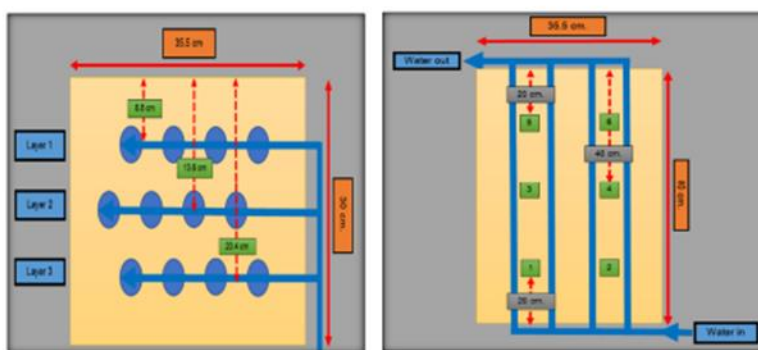
3. การทดสอบ และเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการทดสอบจะเริ่มต้นที่การทำน้ำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ตั้งแต่วันที่ 8:00-16:00 น. หลังจากนั้นหากอุณหภูมิน้ำร้อนไม่ถึง 70 °C จะทำการใช้ฮีตเตอร์เป็นตัวให้ความร้อนเสริมจนได้น้ำร้อนที่มีอุณหภูมิเฉลี่ย 70 °C ตลอดทั้งถัง พร้อมกับทำการบรรจุวัสดุปลูกที่ได้ทำการปรับสภาพความชื้นลงในกระบอกทดสอบแล้วทำการปล่อยน้ำร้อนที่ได้เข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนกำหนดอัตราการไหลของน้ำร้อนที่ 1.5 Liter/min ตั้งแต่วันที่ 16:40 น. เพื่อทำการไล่น้ำเย็นที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน



การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 12
 "Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward 2021"

แล้วเริ่มทำการบันทึกข้อมูลตั้งแต่เวลา 17:00-23:00 น. สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อวัดอุณหภูมิจะใช้สาย Thermocouple type K ติดตั้งที่บริเวณทางน้ำเข้า, ทางน้ำออกของกระบอกทดสอบ และบริเวณในกระบอกทดสอบเพื่อบันทึกการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในวัสดุปลูก ซึ่งจะทำการบันทึกอุณหภูมิวัสดุปลูกที่ระดับความลึก 6.8, 13.6 และ 20.4cm ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 3(ก)และในแต่ละระดับความลึกจะทำการบันทึกอุณหภูมิ 6 ตำแหน่ง แสดงดังรูปที่ 3(ข) ทำการบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 นาที โดยใช้ Temperature data logger (Model: Lutron TM 1947SD, Accuracy $\pm 0.4\%$) หลังจากเสร็จสิ้นในส่วนของการเก็บรวบรวมข้อมูลแล้ว ได้ทำการนำค่าอุณหภูมิวัสดุของปลูกที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงเวลา และในแต่ละระดับความชื้นมาเปรียบเทียบกันและวิเคราะห์ผลต่อไป



(ก) ด้าน Front view ของกระบอกทดสอบ
 (ข) ด้าน Top view ของกระบอกทดสอบ
 รูปที่ 3 ตำแหน่งจุดติดตั้งสาย Thermocouple type K เพื่อทำการบันทึกอุณหภูมิของวัสดุปลูก

4. การวิเคราะห์สมรรถนะทางความร้อนอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

4.1 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไปยังวัสดุปลูกในแต่ละระดับความชื้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 ดังนี้

$$Q = UA\Delta T_{LMTD} \quad (1)$$

โดยที่ Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (W)

U คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ($W/m^2 \cdot K$)

A คือ พื้นที่ผิวของท่อทองแดง (m^2)

T_{LMTD} คือ ผลต่างของอุณหภูมิเชิงลอการิทึมระหว่างน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนกับอุณหภูมิของวัสดุปลูก ($^{\circ}K$)

4.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในวัสดุปลูกในแต่ละระดับความชื้นตั้งแต่เวลา 17:00-23:00 น. โดยพิจารณาแนวโน้มการเพิ่มขึ้น และลดลงของอุณหภูมิของวัสดุปลูก และระยะเวลาที่สามารถทำให้วัสดุปลูกมีอุณหภูมิเฉลี่ยมากกว่าหรือเท่ากับ $45^{\circ}C$ ซึ่งเป็นค่าที่จะสามารถยับยั้งการเจริญเติบโต



การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 12
 "Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward 2021"

ของเชื้อจุลินทรีย์ *RastoniaSolanacearum*[2] และเนื่องจากการศึกษาครั้งนี้จะเน้นไปในส่วนของคุณสมบัติการทำงาน และสมรรถนะทางความร้อนของระบบฆ่าเชื้อในวัสดุปลูกที่ใช้น้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ ส่วนผลยืนยันการทำลายเชื้อ *RastoniaSolanacearum* ว่าสามารถทำลายได้หรือไม่ จะอยู่ในงานอีกส่วนหนึ่ง

4.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไปยังวัสดุปลูกในแต่ละระดับความชื้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แสดงดังสมการที่ (1) กับปริมาณความร้อนของถังเก็บน้ำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ แสดงดังสมการที่ (2) รวมกับปริมาณความร้อนที่ได้รับจากฮีตเตอร์แสดงดังสมการที่ (3) และ (4) ตามลำดับ

ปริมาณความร้อนของถังเก็บน้ำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2 ดังนี้

$$Q_{Storage} = (MC_p)_s \left(\frac{T_s^{t+\Delta t} - T_s}{\Delta t} \right) \quad (2)$$

โดยที่ $Q_{Storage}$ คือ ความร้อนของถังเก็บน้ำร้อน(W)

M คือ มวลของน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อน (kg) กำหนดที่ 150 kg

C_p คือ ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อน กำหนดที่ 4187 J/kg $^{\circ}$ C

$T_s^{t+\Delta t}$ คือ อุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนเมื่อเวลาเปลี่ยนไป ($^{\circ}$ C)

T_s คือ อุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อน ($^{\circ}$ C)

Δt คือ ผลต่างเวลาที่ใช้ในการคำนวณ (s)

ปริมาณความร้อนที่ได้รับจากฮีตเตอร์ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3 และ 4 ดังนี้

$$Q_{Heater} = (Pt) \times 3.6 \quad (3)$$

$$P = IV \quad (4)$$

โดยที่ Q_{Heater} คือ ความร้อนจากฮีตเตอร์ (MJ)

I คือกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอุปกรณ์ทำความร้อน (A)

P คือ กำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์(kW)

t คือ เวลาที่ฮีตเตอร์ทำงาน (hr)

V คือ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมอุปกรณ์ทำความร้อน (V)

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5 ดังนี้

$$\eta_{Heat\ exchanger} = \frac{output}{input} = \left(\frac{Q}{Q_{Storage} + Q_{Heater}} \right) \times 100 \quad (5)$$

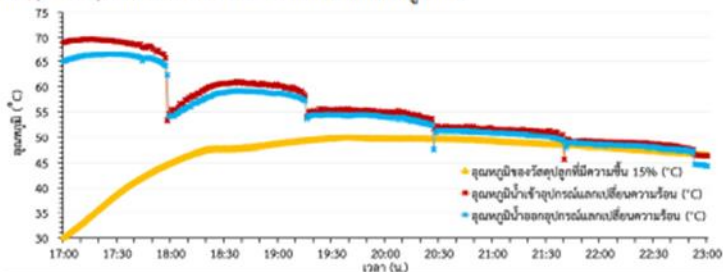


การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 12
 "Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward 2021"

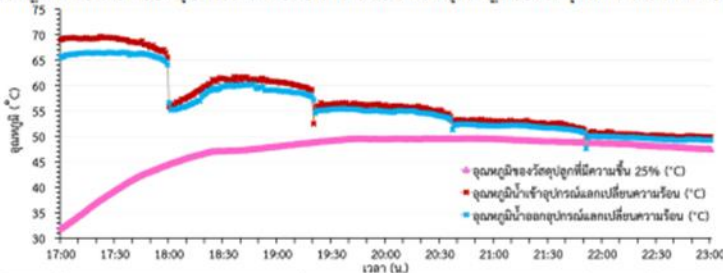
ผลการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์ผลการใช้น้ำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีผลต่ออุณหภูมิวัสดุปลูก

สำหรับการวิเคราะห์ผลการใช้น้ำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีผลต่ออุณหภูมิวัสดุปลูกที่มีความชื้น 15,25,35 และ 45% ตามลำดับเริ่มต้นที่เวลา 17:00 น. วัสดุปลูกในแต่ละระดับความชื้นมีอุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 30.13, 31.91, 33.81 และ 36.55°C ตามลำดับ จนเมื่อถึงช่วงระยะเวลา 19:39-20:51 น. วัสดุปลูกจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่สูงที่สุดในแต่ละระดับความชื้นเท่ากับ 50.01, 49.64, 52.76 และ 52.44°C ตามลำดับ และเมื่อถึงเวลา 23:00 น. วัสดุปลูกในแต่ละระดับความชื้นจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยสุดท้ายเท่ากับ 46.5,47.54 ,50.6 และ 49.47°C ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4



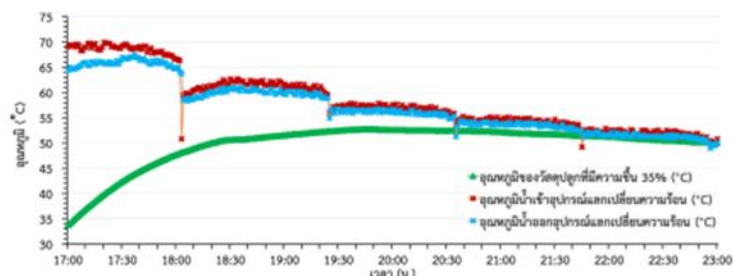
(ก)อุณหภูมิน้ำร้อนเข้า-ออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และอุณหภูมิของวัสดุที่มีความชื้นเท่ากับ 15%



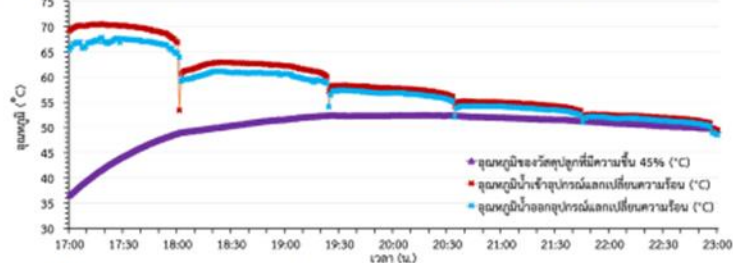
(ข)อุณหภูมิน้ำร้อนเข้า-ออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และอุณหภูมิของวัสดุที่มีความชื้นเท่ากับ 25%



การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 12
 "Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward 2021"



(ก) อุณหภูมิความร้อนเข้า-ออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และอุณหภูมิของวัสดุที่มีความชื้นเท่ากับ 35%



(ง) อุณหภูมิความร้อนเข้า-ออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และอุณหภูมิของวัสดุที่มีความชื้นเท่ากับ 45%
 รูปที่ 4 อุณหภูมิความร้อนเข้า-ออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และอุณหภูมิของวัสดุในแต่ละระดับความชื้น

2. ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไปยังวัสดุปลูก

สำหรับการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไปยังวัสดุปลูกที่มีความชื้น 15, 25, 35 และ 45% ตามลำดับ โดยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากอุณหภูมิของวัสดุปลูกในแต่ละระดับความชื้น เริ่มต้นตั้งแต่เวลา 17:00 น. จนถึงช่วงเวลาที่คุณสมบัติของวัสดุปลูกในแต่ละระดับความชื้นมีค่าเฉลี่ยสูงสุดพบว่าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเฉลี่ยเท่ากับ 46.72, 49.39, 49.70 และ 56.44 $W/m^2 \cdot K$ ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไปยังวัสดุปลูก

| ระดับความชื้นของวัสดุปลูก | สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ($W/m^2 \cdot K$) |
|--------------------------------|--|
| วัสดุปลูกที่ระดับความชื้น 15 % | 46.72 |
| วัสดุปลูกที่ระดับความชื้น 25 % | 49.40 |
| วัสดุปลูกที่ระดับความชื้น 35 % | 49.70 |
| วัสดุปลูกที่ระดับความชื้น 45 % | 56.44 |



การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 12
 "Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward 2021"

3. ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบฆ่าเชื้อวัสดุปลูก

สำหรับผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบฆ่าเชื้อวัสดุปลูกที่มีความชื้น 15,25,35 และ 45% ตามลำดับพบว่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบฆ่าเชื้อวัสดุปลูกในแต่ละระดับความชื้นมีค่าเท่ากับ 8.85,9.73, 12.48และ13.57%ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบฆ่าเชื้อวัสดุปลูก

| ระดับความชื้นของวัสดุปลูก | ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบฆ่าเชื้อวัสดุปลูก |
|--------------------------------|--|
| วัสดุปลูกที่ระดับความชื้น 15 % | 8.85 % |
| วัสดุปลูกที่ระดับความชื้น 25 % | 9.73 % |
| วัสดุปลูกที่ระดับความชื้น 35 % | 12.48 % |
| วัสดุปลูกที่ระดับความชื้น 45 % | 13.57% |

อภิปรายผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ผลการใช้น้ำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีผลต่ออุณหภูมิวัสดุปลูก ตั้งแต่เวลา 17:00-23:00 น. จะสังเกตได้ว่าวัสดุปลูกในแต่ละระดับความชื้นจะมีอุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยที่ไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นผลมาจากในก่อนการทดสอบในบริเวณท่อทองแดงในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะมีน้ำเย็นที่ตกค้างอยู่ในท่อ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการไล่น้ำในระบบเสียก่อนโดยการปล่อยน้ำร้อนจากระบบ ทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนก่อนที่จะทำการบันทึกข้อมูลเป็นเวลาประมาณ 20 นาที (16:40 น.) ซึ่งในระหว่างการไล่น้ำในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนั้น หากว่าอุณหภูมิของน้ำร้อนในท่อทองแดงมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่มากกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของวัสดุปลูกก็จะส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างท่อทองแดงกับวัสดุปลูกก่อนที่จะทำการบันทึกข้อมูลในเวลา 17:00 น. จึงส่งผลให้อุณหภูมิเริ่มต้นของวัสดุปลูกในแต่ละระดับความชื้นมีค่าไม่เท่ากันและหากพิจารณาระยะเวลาที่สามารถทำให้วัสดุปลูกในแต่ละระดับความชื้นมีค่าเฉลี่ยมากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ซึ่งจะสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *RastoniaSolanaacearum* ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัฐพงษ์กมลทิบทิม [2]พบว่าวัสดุปลูกในแต่ละระดับความชื้นมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ได้ตั้งแต่เวลา 18:01 ,18:04 ,17:43 และ 17:34 น. ตามลำดับ จนถึงเวลา 23:00 น. สังเกตได้ว่าวัสดุปลูกที่มีระดับความชื้น 45% จะมีระยะเวลาที่วัสดุปลูกมีอุณหภูมิเฉลี่ยมากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ได้นานที่สุดที่ 5 ชั่วโมง 26 นาที เมื่อเทียบกับวัสดุปลูกที่มีความชื้นน้อยลงมาซึ่งเป็นผลมาจากวัสดุปลูกที่มีความชื้น 45% มีอุณหภูมิเฉลี่ยเริ่มต้นที่เวลา 17:00 น. ที่มากที่สุดเท่ากับ 36.55°Cแสดงดังรูปที่ 4(ง) จึงส่งผลให้ใช้ระยะเวลาในการถ่ายเทความร้อนเพื่อให้อุณหภูมิเฉลี่ยของวัสดุปลูกมากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ได้เร็วกว่าวัสดุปลูกที่มีความชื้น 15,25 และ 35% ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 3

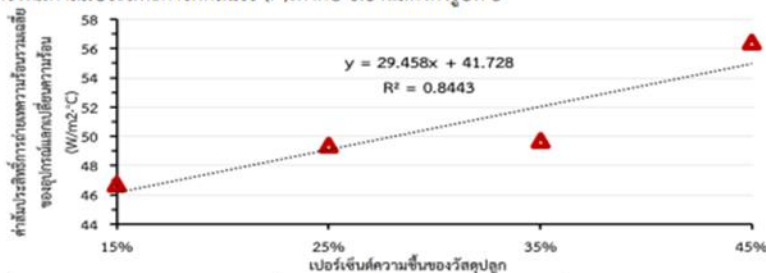


การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 12
 "Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward 2021"

ตารางที่ 3 ระยะเวลาที่สามารถทำให้วัสดุปลูกในแต่ละระดับความชื้นมีค่าเฉลี่ยมากกว่าหรือเท่ากับ 45°C

| ระดับความชื้นของวัสดุปลูก | ช่วงเวลาที่วัสดุปลูกมีอุณหภูมิเฉลี่ยมากกว่าหรือเท่ากับ 45°C | ระยะเวลาที่วัสดุปลูกมีอุณหภูมิเฉลี่ยมากกว่าหรือเท่ากับ 45°C |
|--------------------------------|---|---|
| วัสดุปลูกที่ระดับความชื้น 15 % | 18:01-23:00 น. | 4 ชั่วโมง 59 นาที |
| วัสดุปลูกที่ระดับความชื้น 25 % | 18:04-23:00 น. | 4 ชั่วโมง 56 นาที |
| วัสดุปลูกที่ระดับความชื้น 35 % | 17:43-23:00 น. | 5 ชั่วโมง 17 นาที |
| วัสดุปลูกที่ระดับความชื้น 45 % | 17:34-23:00 น. | 5 ชั่วโมง 26 นาที |

จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไปยังวัสดุปลูก โดยทำการวิเคราะห์ตั้งแต่ระยะเวลา 17:00 น. จนถึงช่วงเวลาที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถถ่ายเทความร้อนให้แก่วัสดุปลูกในแต่ละระดับความชื้นให้มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด เนื่องจากว่าหลังจากนั้นวัสดุปลูกจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิเฉลี่ยของวัสดุปลูกในแต่ละระดับความชื้นมีค่าที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จึงส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนกับวัสดุปลูกมีค่าลดลงตามไปด้วย และเมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุปลูกในแต่ละระดับความชื้น และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเฉลี่ยของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลมาทำการสร้างสมการเชิงถดถอยจะได้สมการเส้นตรงที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.84 แสดงดังรูปที่ 5

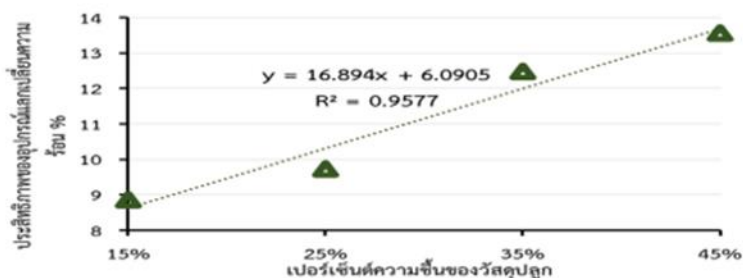


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุปลูกที่ระดับความชื้นต่างๆ และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเฉลี่ยของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบฆ่าเชื้อวัสดุปลูกเมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุปลูกในแต่ละระดับความชื้น และค่าประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลมาทำการสร้างสมการเชิงถดถอยจะได้สมการเส้นตรงที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.96 แสดงดังรูปที่ 6



การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 12
 "Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward 2021"



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุปลูกที่ระดับความชื้นต่างๆ และประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบหม้อเชื้อวัสดุปลูก

ข้อเสนอแนะ

1. ในการทดสอบไม่ได้มีการหุ้มฉนวนบริเวณด้านใต้ของกระบะทดสอบ เนื่องจากเป็นช่องสำหรับดึงสไลด์เพื่อทำการเปลี่ยนถ่ายวัสดุปลูก จึงอาจส่งผลให้เกิดการสูญเสียความร้อนและทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบหม้อเชื้อวัสดุปลูกลดลง
2. ควรให้ระยะทางจากน้ำร้อนที่ผลิตได้จนถึงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีระยะทางที่ใกล้ที่สุด เพื่อลดการสูญเสียความร้อนของน้ำร้อนที่จะทำการปล่อยเข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
3. ในการเตรียมวัสดุปลูกควรทำการพ่นละอองน้ำและทำการคลุกเคล้า แล้วทำการตรวจวัดความชื้นเป็นระยะๆ ไม่ควรราดน้ำในปริมาณมากๆลงไปยังวัสดุปลูกโดยตรง เพราะจะทำให้วัสดุปลูกจับตัวกันเป็นก้อนซึ่งมีผลต่อการควบคุมเปอร์เซ็นต์ความชื้นของวัสดุปลูก

เอกสารอ้างอิง

- [1] ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ. (2560). การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Soilless Culture). ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กำแพงแสน.
- [2] ณัฐพงษ์ แกมทับทิม. (2562). การยับยั้งการเจริญเติบโตเชื้อ *Ralstoniasolanacearum* ในดินเพาะปลูกด้วยการปล่อยน้ำร้อนจากท่อแนวตั้ง. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา. 4(1), 34-42.
- [3] ศศิวิมล กนกกัณตพงษ์. (2553). การหาระบบหม้อเชื้อโรคในดินที่เหมาะสมโดยใช้โซลล่าเซลล์และรวบรวมแสงแบบพาราโบลา. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อม และวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [4] จิรศักดิ์ คงเกียรติขจร. การศึกษาการอบดินด้วยแสงอาทิตย์ร่วมกับการใช้ตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตรต่อการเจริญของเชื้อ *Ralstonia Solanacearum* และการเจริญต้นอ่อนมะเขือเทศ. คณะทรัพยากรชีวภาพ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี (บางขุนเทียน) กรุงเทพมหานคร.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นาย สุทธิพงษ์ แก้วปัญญา
เกิดเมื่อ 15 กรกฎาคม 2536
ประวัติการศึกษา พ.ศ.2558 ปริญญาตรี สาขาพลังงานทดแทน
วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
จังหวัดเชียงใหม่
พ.ศ.2554 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนดาราวิทยาลัย
จังหวัดเชียงใหม่
E-mail:: tam.tantawan77@gmail.com

